CRISTALOGRAFIE

VOLUMUL I

1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

2. CRISTALOGRAFIA GEOMETRICĂ

A. Formele poliedrice
B. Structura internă
Radiometria

TRAIAN IDRICEANU

CRISTALOGRAFIE.

PREFAȚĂ

Cristalografia s-a dezvoltat mai întîi ca o disciplină de bază în studiul mineralelor și al asociațiilor lor, rocile și minereurile, care -în marea lor majoritate - se găsesc în stare cristalină și ale căror proprietăți sînt determinate, în cea mai mare parte, de această stare.

Multă vreme cristalografia a constituit astfel doar un capitol, ce-i drept - foarte important - al mineralogiei, așa cum și astăzi, partea din mineralogie care se ocupă cu studiul stării cristaline a mineralelor, cuprinde capitolele de bază ale acesteia.

De aceea, orice curs de mineralogie trebuie să fie precedat de un asemenea capitol sau curs de cristalografie.

Dar, în afară de minerale, și majoritatea celorlalte corpuri solide: produse industriale metalurgice, chimice, farmaceutice etc. se găsesc tot în stare cristalină, iar o serie de ramuri ale industriei și tehnicei se bazează pe proprietățile pe care le dă starea cristalină acestor corpuri.

Pe de altă parte, multe procese fizice, cu largă aplicație în cercetarea și tehnica cea mai avansată, se realizează pe baza însușirilor pe care le dă starea cristalină materiei.

In felul acesta, cristalografia a devenit o știință independentă care stă, nu numai la baza mineralogiei, petrografiei și geochimiei, care tratează despre procesele legate de starea cristalină și despre corpurile cristaline naturale din scoarța terestră, dar și la baza chimiei, metalurgiei, mineritului, radiotehnicei etc. iar fizica corpului solid este de neconceput fără cunoașterea profundă a cristalografiei.

Studenții geologi, chimiști, fizicieni, tehnologi, minieri etc. trebuie să aibă în programul lor de învățămînt și cristalografia. Așa este în toată lumea, așa a fost și la noi pînă acum cîțiva ani, de cînd - pe motive subiective și datorită unei conjuncturi nefericite - locul cristalografiei în aceste programe de învățămînt a fost redus la minimum sau a devenit formal. Așa s-a scos din rîndul disciplinelor obligatorii iar apoi s-a eliminat complet cristalografia la unele facultăți de chimie, sau - lucru de-a dreptul absurd - s-a scos cristalografia din planul de învățămînt al facultății de fizică, unde se studiază fizica corpului solid (în general cristalin) fără cunoașterea acestei discipline!

Și la secțiile de geologie, din aceleași motive subiective, a existat tendința reducerii sub limită a orelor de cristalografie.

De aceea am găsit utilă editarea Cristalografiei într-o formă rezumativă și selectivă, cuprinzînd însă noțiunile de bază ale disciplinei, necesare studenților de la toate secțiile la care predau.

Rămîne ca la curs, pe cît permite programul fiecărei facultăți, să se dezvolte diferențiat, la fiecare categorie de studenți, părțile sau capitolele de cristalografie, direct legate sau cu aplicații în specialitatea pe care o urmează.

Am găsit necesar să împart cursul în două volume de proporții mai reduse. In primul volum, după cîteva capitole de noțiuni introductive, se tratează Cristalografia geometrică; în primul rînd cristalografia geometrică a formelor exterioare, poliedrice, ale cristalelor, iar apoi cristalografia geometrică a structurii lor interne.

In această ultimă parte am cuprins și radiocristalografia, în care se concretizează și ilustrează aranjarea ordonată a particulelor componente ale cristalelor în structura lor internă.

Al doilea volum cuprinde Cristalochimia, Cristalogeneza și Cristalografia fizică.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CRISTALOGRAFIE

TRAIAN IDRICEANU

1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CRISTALOGRAFIE

1.- NOŢIUNI INTRODUCTIVE

I. STAREA CRISTALINĂ. DEFINIREA NOŢIUNII DE CRISTAL. CORPURI AMORFE.

1.- CRISTALELE, CORPURI NATURALE SAU ARTIFICIALE SOLIDE CU FORME POLIEDRICE REGULATE

Vechii greci întrebuinţau denumirea de "cristallos" pentru ghiaţă şi tot astfel au denumit apoi şi cuarţul, SiO_2, incolor şi transparent, răspîndit în natură şi cunoscut sub denumirea de cristal de stîncă.

Ulterior, termenul de cristal a fost extins la toate corpurile din natură care au forme poliedrice, aşa cum sînt - de ex. - cuburile de sare gemă (NaCl), poliedrele cu opt feţe (octaedrii) de magnetit (Fe_3O_4), poliedrele cu 12 feţe (dodecaedri) ale granatului (pirop, $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$) etc.

Toate aceste corpuri sînt minerale. In forme geometrice regulate, ele s-au numit cristale.

Uneori cristalele prezintă dimensiuni uriaşe, cum este cristalul de cuarţ găsit în 1951 în U.R.S.S. aflat la muzeul Institutului de mine din Leningrad, care are o lungime de 3,5 m., o lăţime de 1,60 m şi o greutate de 13 tone. Alteori însă, cristalele sînt aşa de mici, încît nici nu pot fi observate cu ochiul liber.

Astfel, dacă vom evapora o soluţie saturată de alaun de potasiu, $(SO_4)_2$ AlK, vom constata că se depune o pulbere fină. Dacă însă vom pune o picătură din această soluţie pe o lamă de sticlă şi vom privi la microscop în timpul evaporării ei, vom observa cum se formează şi se dezvoltă, cresc, octaedri de alaun de formă geometrică perfectă.

Pe baza acestor observaţii, se poate formula o primă definiţie a cristalelor:

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Cristalele sînt corpuri naturale, sau obținute artificial; care au forme poliedrice regulate.

2. CRISTALELE, CORPURI SOLIDE CU STRUCTURA RETICULARA. CORPURI AMORFE

Mult mai răspîndite decît monocristalele se întîlnesc însă agregatele de cristale, în care cristalele - de cele mai multe ori - nu-și mai păstrează forma geometrică regulată. Astfel, dacă vom confecționa o secțiune subțire (de o,o2 mm) dintr-o bucată de granit și vom privi la microscop, vom constata că pe cînd feldspatul (ortoza) se va prezenta, de obicei, în formă de prisme regulate, cuarțul în care sînt cuprinse cristale de ortoză, reprezintă granule neregulate, care sînt întrepătrunse de cristale de ortoză sau de alte minerale (fig.1).



Fig. 1a



Fig. 1b



Fig. 1c

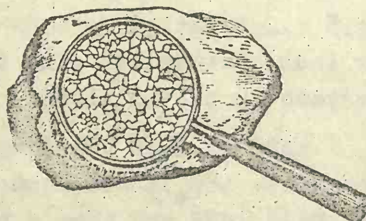


Fig. 1d

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Tot granule neregulate vom observa la microscop şi pe secţiunea unui aliaj sau la un precipitat chimic.

In unele cazuri, cum este de ex.cazul mineralelor argiloase, nici cu microscopul obişnuit nu se mai disting granulele de mineral şi deci nu se poate aprecia dacă este vorba de minerale în stare cristalină.

Pe baza unor proprietăţi ale cristalelor, s-au formulat încă de mult,ipoteze cu privire la structura internă a cristalelor şi s-a ajuns la concluzia că în cristale, particulele componente (atomi, ioni sau molecule), trebuie să fie dispuse regulat în spaţiu, în forma unei reţele tridimensionale, a cărei noduri le ocupă.

Doi mari cristalografi, E.S.Fedorov şi A.Schoenflies au şi calculat toate posibilităţile de aranjare a particulelor în reţea şi au ajuns, independent unul de altul,la acelaşi număr de 230 aranjamente posibile, care au fost numite grupe spaţiale.

După ce s-a descoperit difracţia razelor X prin cristale, ipoteza a fost verificată în practică şi s-a confirmat. Cu ajutorul razelor X s-a stabilit că mineralele argiloase sînt deasemenea cristalizate, ca şi multe alte corpuri care nu prezentau forme poliedrice; s-a stabilit că structura reticulară este caracteristică pentru toate corpurile cristalizate, fără nici o excepţie, dar numai pentru acestea şi că structura reticulară este cea care defineşte, în ultimă analiză, starea cristalină.

Astfel, s-a constatat că definiţia care lua în consideraţie numai forma poliedrică regulată a corpurilor cristaline, este nesatisfăcătoare şi s-au definit cristalele, ca fiind corpuri solide în care particulele componente (atomi, ioni sau molecule) sînt dispuse regulat în spaţiu, sub formă de reţea tridimensională.

Celelalte corpuri solide, în care particulele sînt aşezate, în general, desordonat, se numesc corpuri amorfe.

Structura lor desordonată se explică, prin aceea că în condiţiile formării rapide, de ex.prin răcire bruscă, datorită micşorării bruşte a mobilităţii particulelor, acestea nu reuşesc să se aşeze regulat unele faţă de altele. Ca exemple de corpuri amorfe pot servi:sticla, masele plastice, smoala, cleiul etc. Substanţele amorfe nu sînt însă stabile; ele prezintă tendinţa de a cristaliza cu timpul.Aşa cristalizează, cu timpul,sticla, formînd agregate fine de cristale şi devenind foarte casantă.

Starea cristalină a corpului solid este mai stabilă decît starea amorfă, deoarece energia internă minimă corespunde repartiţiei regulate a particulelor în structură. Acest lucru este pus în evidenţă de faptul că la formarea cristalelor se degajă căldură, pe cînd la distrugerea lor (topire,disolvare) se absoarbe căldură.Astfel, dacă se pune într-un balon o cantitate de hiposulfit de sodiu cristalizat şi se încălzeşte, se constată că la temperatura de 41°C acesta se topeşte. Distrugerea cristalelor se face cu absorbţie de căldură. Dacă se lasă balonul liniştit, el se răceşte pînă la temperatura camerei (cca.20°C), fără ca hiposulfitul să se solidifice, deşi s-a răcit sub temperatura de topire.Se spune că avem de-a face cu un lichid subrăcit.

Dacă se aruncă în balon un cristal de hiposulfit, toată masa lichidului cristalizează brusc, iar termometrul se ridică la 41°C. Cristalizarea se face cu degajare de căldură.

Corpurile amorfe sînt similare, din aceste puncte de vedere, cu lichidele subrăcite şi numai cristalele sînt reprezentanţi veritabili ai corpurilor solide.

3. CITEVA CARACTERE ALE REŢELEI SPAŢIALE

3.1. Construcţia reţelei tridimensionale

a. Să considerăm un nod oarecare al reţelei de ex. nodul Ao (fig.2) ca nod iniţial. Să presupunem că nodul cel mai apropiat de acesta este nodul A_1.care se găseşte la distanţa

a - A_0 A_1. Pe direcţia A_0 A_1 . . vom găsi o serie de noduri, A_2, A_3, A_4.. dispuse de-a lungul acestei drepte, la intervale egale între ele şi egale cu a.

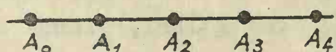


Fig.2

Totalitatea nodurilor situate de-a lungul unei drepte, care se succed periodic la intervale egale, se numeşte şir reticular, iar intervalul dintre noduri - a - este parametrul şirului şi caracterizează şirul reticular respectiv.

b. Să continuăm această construcţie în planul desenului (fig.3)

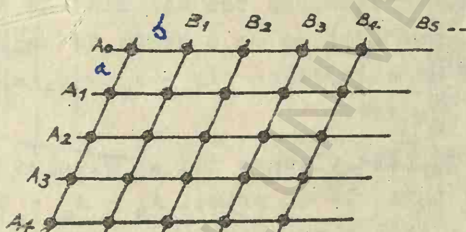


Fig. 3.

Alegem, în raport cu nodul iniţial A_0, încă un nod - B_1 - situat în panul desenului, la cea mai mică distanţă, dar în afara dreptei A_0 - A_1 - A_2 . . . Să considerăm acest nod situat la o distanţă b faţă de nodul A_0. Trasînd prin nodurile B_1 - B_2 - B_3 - --, drepte paralele cu primul şir, A_0 - A_1 - A_2 -----vom obţine o serie de şiruri complet analoge, cu acelaşi parametru, a.

In mod asemănător, prin nodurile - A_1 - A_2 -- vom duce paralele cu şirul A_0 - B_1 - B_2 --- şiruri analoge cu acesta, avînd parametrul =b. Se obţine astfel, o aşa numită reţea plană sau bidimensională, care este constituită dintr-un sistem de noduri dispuse într-un singur plan şi situate în vîrfurile unui

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

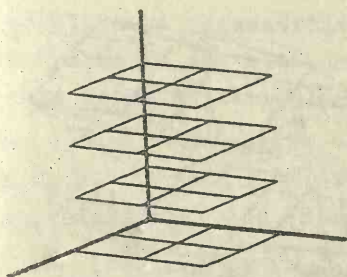
sistem de paralelograme egale, orientate paralel şi adiacente după laturi întregi, ai căror parametri a şi b caracterizează reţeaua plană considerată. Aceste paralelograme acoperă în întregime, fără goluri, planul desenului şi se numesc paralelograme elementare sau ochiuri ale reţelei.

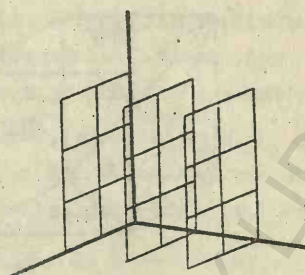
Reţeaua plană este determinată de două şiruri reticulare; în cazul nostru, şirurile - $A_o - A_1 - A_2 - A_3$ . . . şi . . $A_o - B_1 - B_2$ - ce determină reţeaua plană $A_n - A_o - B_n$ - cu parametrii a şi b.

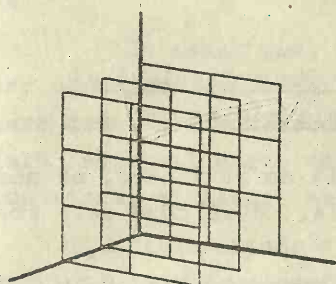
c. Mai departe, construcţia reţelei se efectuează în afara planului desenului . Să luăm din nou reţeaua plană - $A_n - A_o - B_n$ - şi să considerăm un nod C_1, situat în afara reţelei plane, la distanţa cea mai mică de A_o. Prelungind dreapta A_oC_1, vom găsi pe ea o serie de noduri - C_2, C_3 . . , care formează un al treilea şir - $A_o - C_1 - C_2$ - - cu parametrul $c = A_oC_1$, etc.

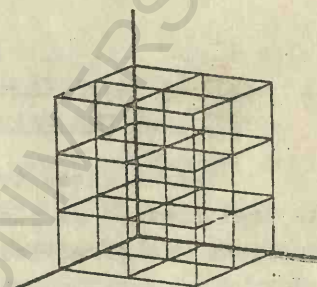
Ducînd prin fiecare nod al şirului $A_o - C_1 - C_2$ cîte o reţea plană paralelă cu prima, $A_n - A_o - B_n$ -, vom obţine un sistem de reţele plane similare, care determină o reţea tridimensională, o reţea spaţială, caracterizată prin şirurile reticulare: $A_o - A_1 - A_n$, $A_o - B_1$ -- B_n şi $A_o - C_1$ -- C_n ai căror parametri sînt respectiv, a,b şi c. La acelaşi rezultat se ajunge şi în cazul cînd vom duce o serie de reţele plane paralele cu reţeaua plană determinată de şirul $A_o - A_1$ -- A_n cu şirul $A_o - C_1 - C_n$ din nodurile A_o, B_1, B_2 sau o serie de reţele plane determinate de şirurile $A_o - B_1 - B_2$--- şi $A_o - C_1 - C_2$ -- prin nodurile A_o, A_1, A_2 - - .

In toate cazurile rezultă o reţea spaţială tridimensională, care cuprinde cele trei sisteme de plane reticulare: $A_n - A_o - B_n$ -, $A_n - A_o - C_n$ - şi $B_n - A_o - C_n$ . . (fig.4).


Fig.4a


Fig.4b.


Fig.4c


Fig.4d

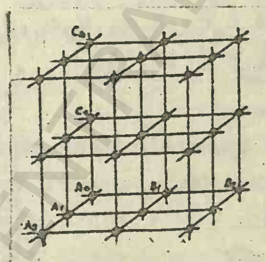


Fig.4e

Prin intersecţia acestor plane se formează un sistem de paralelepipede ale căror vîrfuri corespund celor mai apropiate noduri ale reţelei spaţiale. Un asemenea paralelepiped se numeşte paralelepiped elementar, cum este paralelepipedul elementar A_0A_1,A_0B_1,A_0C_1 (fig.5) iar parametrii pe cele trei direcţiuni respectiv a, b şi c se numesc parametri fundamentali. Ei caracterizează reţeaua tridimensională.

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

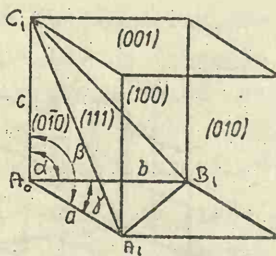
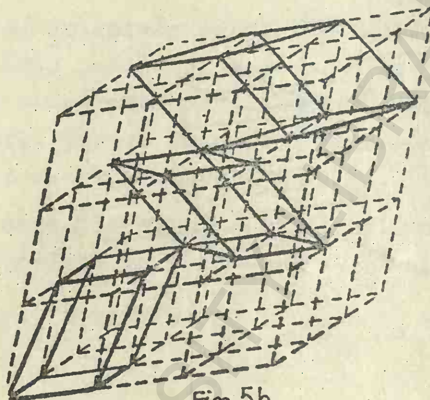


Fig. 5a


Fig. 5b

3.2. Legătura dintre structura reticulară şi forma exterioară a cristalelor.

Intr-o reţea tridimensională se întîlnesc, nu numai cele trei sisteme de plane principale, duse după cele trei direcţiuni ale şirurilor reticulare $A_o - A_1 - A_2$ --, $A_o - B_1 - B_2$ -- $A_o - C_1 - C_2$ --. cu parametrii a, b, c, dar şi alte sisteme de plane reticulare, cum ar fi de ex.planul reticular ce trece prin a_oc_2,b_2c_2,a_2c_o,şi a_2b_2 sau planul care trece prin m,n şi p (fig.6).

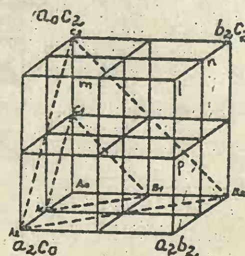


Fig.6

Pe cele două direcţiuni principale, în reţeaua plană, parametrii fundamentali pot avea valori mai mari sau mai mici şi egale sau diferite între ele. Suprafaţa paralelogramului elementar poate fi mai mică sau mai mare şi prin urmare şi densitatea nodurilor pe reţea poate fi mai mică sau mai mare.

In celelalte plane reticulare, cu parametri care sînt multipli ai parametrilor fundamentali, suprafaţa ochiului de reţea va fi mai mică decît a paralelogramului elementar, cum este cazul reţelei plane cu achiul m,n,p, sau mai mare cum este cazul celorlalte plane considerate, a_0c_2, b_2c_2, a_2c_0 şi a_2c_2, b_2c_2, b_2c_0, a_2c_0. Cu cît ochiurile de reţea vor avea o suprafaţă mai mică, densitatea reţelei plane va fi mai mare.

In astfel de plane restioulare de mare densitate, forţa de atracţie dintre punctele materiale fiind mult mai mare şi coeziunea dintre particule este foarte mare. Asemenea plane de mare densitate reticulară pot apărea ca feţe de cristal.

In acest caz, vîrfurile, muchile şi feţele cristalelor corespund nodurilor, şirurilor şi reţelelor plane de mare densitate din reţeaua spaţială. Cu cît densitatea reticulară este mai mare, cu atît faţa corespunzătoare este mai importantă şi apare mai frecvent la cristal.

Unele cristale au proprietatea de a se desface cu uşurinţă după feţe perfect plane, în bucăţi din ce în ce mai mici, în urma unui efort mecanic. Se spune că au proprietatea de a cliva. Astfel galena (PbS) şi sarea gemă (NaCl), care cristalizează în formă de cuburi, prin lovire cu ciocanul, se desfac în cuburi din ce în ce mai mici, cu feţe perfect palane şi, în cazul galenei, foarte lucioase.
Fluorina (CaF_2), care cristalizează deasemenea sub formă de cuburi, clivează după feţe perpendiculare pe diagonalele cubului, după plane ca m,n,p din reţeaua de mai sus.
Feţele de clivaj sînt deasemenea plane reticulare de densitate maximă.

Dispoziţia geometrică regulată a particulelor materiale în structurile cristaline stă la baza întregii cristalografii moderne.

EXPLICATIA FIGURILOR 1, 4, 5 şi 6.

Fig. 1a Structură granitică:

1.cuarţ
2.feldspat
3. biotit
4. mineral opac

Fig. 1b Structură porfirică

1.feldspat
2.cuarţ
3. mica
4. masă fundamentală

Fig. 1c Structură porfirică

fenocristale şi masă fundamentală

Fig. 1d Structură microgranulară de rocă;

structura se distinge numai cu lupa

Fig. 4a Reţea plană paralelă cu planul axelor x şi y
Fig. 4b " " " " " x şi z
Fig. 4c " " " " " y şi z
Fig. 4d Cele trei sisteme de plane reticulare în reţeaua tridimensionala.
Fig. 4e Reţea cubică tridimensională

Fig. 5a Paralelepipedul elementar:
unghiul α făcut de axele y şi z, unghiul β făcut de axele x şi z şi unghiul γ făcut de axele x şi y;

- parametrul a, pe axa x, parametrul b, pe axa y şi parametrul c, pe axa z;
- plan reticular anterior (100), posterior ($\bar{1}00$), superior (001), drept(010), sting (0$\bar{1}$0) şi plan reticular fundamental (111).

Fig. 5b Celulele elementare cu orientari diferite în reţeaua spaţială au totdeauna acelaşi volum.

Fig. 6 Toate planele reticulare paralele cu planul reticular a b c sînt plane fundamentale şi au aceeaşi densitate reticulară a nodurilor.

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4. CONSECINȚE ALE STRUCTURII RETICULARE

4.1. Omogenitatea reală a cristalelor

Se numesc corpuri omogene, corpurile care, pe toată întinderea lor prezintă aceleaşi proprietăţi.

Corpurile gazoase,în general, lichidele şi materia solidă amorfă, au particulele componente răspîndite în spaţiu într-o dezordine ideală.Dacă am număra pe diferite direcţii, pe aceeaşi distanţă,aceste particule extrem de mici, am găsi, practic,acelaşi număr foarte mare de particule. Se spune că aceste corpuri prezintă o omogenitate statistică (fig.7) Bine înţeles că în starea gazoasă şi cea lichidă, particulele componente sînt într-o permanentă mişcare de translaţie, pe cînd în corpurile solide amorfe ele pot avea doar o mişcare de vibraţie în jurul unui centru de vibraţie.

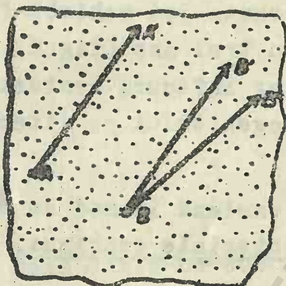


Fig.7.

In corpurile cristaline, după cum am văzut,particulele sînt dispuse ordonat, după anumite reguli, în şiruri, plane şi grupe spaţiale reticulare,sau mai simplu, în reţea.
Pe direcţii paralele, iar uneori şi pe direcţii neparalele, întîlnim în cristale - riguros - acelaşi număr de particule şi deasemenea, aceleaşi proprietăţi. Se spune că aceste corpuri prezintă o omogenitate reală.

Omogenitatea reală este o proprietate caracteristică a cristalelor.

4.2. Proprietăţile materiei omogene

Materia solidă prezintă în general două feluri de proprietăţi: proprietăţi scalare şi proprietăţi vectoriale.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Proprietăţile scalare sînt acelea care nu variază cu direcţiunea; în acelaşi corp omogen au aceeaşi valoare pe orice direcţiune.

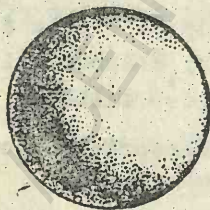
Aşa este densitatea, căldura specifică, compoziţia chimică etc.

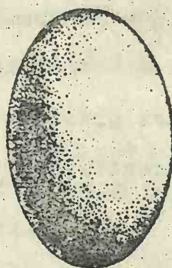
Proprietăţile scalare se exprimă prin cifre şi se reprezintă prin puncte.

Proprietăţile vectoriale sînt acelea care variază cu direcţiunea şi uneori chiar cu sensul. Aşa sînt în unele cazuri proprietăţile optice, dilatarea termică, coheziunea etc. Ele se reprezintă prin vectori (drepte orientate, cu punct de aplicaţie, direcţie, sens şi mărime).

In unele cazuri, vectorii care reprezintă o proprietate a unui corp, capătă valori care variază în mod continuu cu derecţiunea.Astfel, dacă am încălzi o sferă din mineralul aragonit ($CaCO_3$), am constata că aceasta îşi schimbă forma, transformîndu-se într-un elipsoid cu trei axe (fig.8), aşa cum s-ar prezenta şi suprafaţa care ar înfăşura vectorii ce exprimă dilatabilitatea termică a aragonitului pe diferite direcţii.

Asemenea proprietăţi, care variază în mod continuu cu direcţiunea se numesc proprietăţi vectoriale continui.


Fig.8a


Fig.8 g

Dilataţia termică,compresibilitatea, elasticitatea, viteza de propagare a luminii, conductibilitatea termică, conductibilitatea electrică, sînt exemple de proprietăţi vectoriale

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

continui pentru unele cristale, pe cînd pentru altele, aceleași proprietăți sînt proprietăți scalare.

In alte cazuri unele proprietăți ale corpurilor se manifestă tot cu intensități diferite pe diferite direcții, dar acestea trec de la valori mici pe anumite direcțiuni, la valori foarte mari pe direcțiuni învecinate, sau invers. Vectorii care reprzintă aceste proprietăți capătă valori discontinui. Astfel se manifestă proprietatea de coheziune la mineralul mică albă sau muscovit- $KAl_2 [Si_3Al O_{10}](OH,F)_2$. In direcția perpendiculară pe fețele de cristal, coeziunea este foarte slabă; mineralul se desface lesne în foițe, clivează -pe cînd pe direcții învecinate, coeziunea are, deodată, valori foarte mari (fig.9).

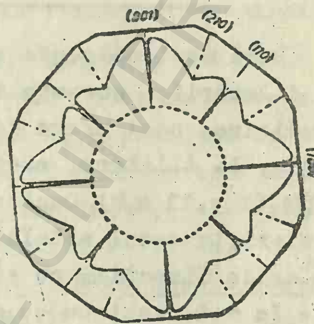


Fig.9.

Dacă dintr-un cub de sare gemă tăiem trei paralelepipede de dimensiuni egale, pe trei direcțiuni diferite și neparalele, vom constata că ele prezintă rezistențe diferite la rupere (fig.10): - efortul de rupere a barei din direcția perpendiculară pe fețele de cub (i,j) este de 570 g/mm^2; - efortul de rupere a barei paralele cu diagonala unei fețe (a,c) este de 1150 g/mm^2, iar - efortul de rupere a barei paralele cu diagonala spațială (e,b) este de 2150 g/mm^2.

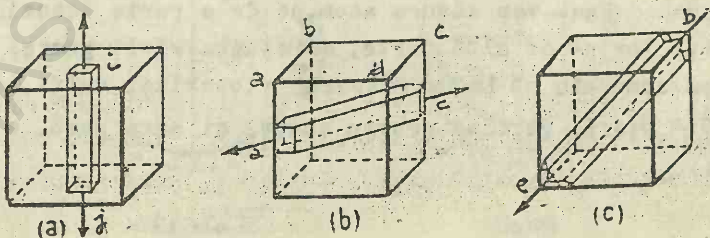


Fig.10

Proprietăţile care variază cu direcţiunea dar intensităţile cu care se manifestă acestea pe direţiuni succesive, exprimate prin vectori, au mărimi foarte diferite,se numesc proprietăţi vectoriale discontinui.

Aşa sînt: l.viteza de creştere şi de disolvare a cristalelor, 2.proprietatea cristalelor de a macla, 3.clivajul, 4.translaţiile, şi 5. difracţia razelor roentgen prin cristale.

La toate cristalele,aceste proprietăţi vectoriale sînt discontinui.

Proprietăţile vectoriale discontinui sînt caracteristice pentru materia cristalizată, în general.

4.3. Corpuri izotrope şi anizotrope.

Dacă se încălzeşte o sferă de sticlă, se constată că, în urma dilatării, aceasta îşi menţine forma sferică,pe cînd prin încălzirea unei sfere de cuarţ (SiO_2), care are aceeaşi compoziţie, la dilatare, acesta se transformă într-un elipsoid de rotaţie (fig.11 a,b). Dacă am reprezenta această proprietate prin vectori,în cazul sticlei vectorii vor căpăta aceeaşi mărime pe orice direcţie, pe cînd în cazul cuarţului mărimea lor va varia în mod continuu cu direcţiunea. Şi suprafeţele înfăşurătoare ale victorilor pentru dilatarea termică vor avea aceleaşi forme: în cazul sticlei,o sferă; în cazul cuarţului, un elipsoid de rotaţie.

Dacă vom măsura indicii de refracţie la sticlă, la sarea gemă şi la cuarţ , iar cu valorile căpătate pe toate direcţiunile, reprezentate prin vectori, vom construi suprafeţe înfăşurătoare, atît la sticlă, cît şi la sarea gemă, vom obţine tot cîte o sferă, pe cînd la cuarţ vom obţine un elipsoid.

Dacă vom măsura acum,pe de o parte coeziunea sticlei, iar pe de altă parte, coeziunea sării gemei şi a cuarţului, vom constata că înfăşurătoarea victorilor va fi, pentru sticlă tot o sferă, pe cînd pentru cuarţ şi sare gemă, o formă

...scontinuă,cu valori minime pentru anumite direcţiuni şi cu valori foarte mari pentru direcţiunile învecinate.

Corpurile pentru care o proprietate se manifestă la fel pe orice direcţie, ca şi o proprietate scalară, se spune că sînt izotrope pentru acea proprietate.

Sticla şi sarea gemă sînt izotrope pentru proprietăţile termice şi pentru proprietăţile optice. Suprafaţa înfăşurătoare a vectorilor prin care s-ar exprima acea proprietate pentru care corpurile sînt izotrope este o sferă.

Corpurile la care o proprietate se manifestă diferit pe diferite direcţii, sînt anizotrope pentru acea proprietate.

Cuarţul este anizotrop pentru dilatarea termică, care este, în cazul său o proprietate vectorială continuă.

Pentru coeziune numai sticla a mai rămas izotropă, pe cînd sarea gemă, ca şi cuarţul, sînt anizotrope. Suprafaţa înconjurătoare a vectorilor care ar reprezenta coeziunea va fi, la sticla, izotropă, o sferă, pe cînd la sarea gemă şi la cuarţ, vor rezulta forme cu simetrii inferioare, care vor exprima această proprietate ca o proprietate vectorială discontinuă. Sticla şi toate corpurile amorfe, fără nici o excepţie, sînt izotrope pentru toate proprietăţile.Vedem însă din aceste exemple că un corp cristalin poate fi izotrop pentru unele proprietăţi şi anizotrop pentru altele.
Sarea gemă este izotropă pentru dilatarea termică şi proprietăţile optice, pe cînd pentru coeziune este anizotropă.Mai vedem că pentru unele proprietăţi, cristalele au anizotropie continuă, exprimată prin proprietăţi vectoriale continui,

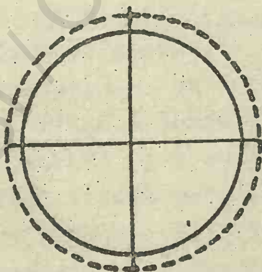


Fig.11a

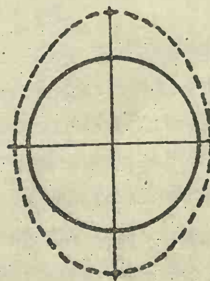


Fig.11b

cum este dilatarea termică şi refracţia la cristalele de cuarţ, sau anizotropie discontinuă, cum este tot la cuarţ şi la sarea gemă, coeziunea.

Cristalele pot fi deci izotrope pentru unele proprietăţi şi anizotrope, continui sau discontinui, pentru alte proprietăţi,dar,spre deosebire de corpurile amorfe,cristalele sînt totdeauna anizotrope cel puţin pentru unele proprietăţi.

Şi - de altfel - izotrope pentru unele proprietăţi, nu sînt decît cristalele cu o simetrie foarte ridicată, cu reţeaua elementară în formă de cub, care sînt grupate în sistemul cubic.

4.4. Definirea noţiuni de cristal

Pe baza cunoştinţelor prezentate mai sus, materia cristalină poate fi acum definită în mod general şi riguros, în modul următor:

Posibilitatea de a lua forme poliedrice, prezenta proprietăţilor vectoriale discontinui,anizotropia, omogenitatea reală şi în ultimă analiză, structura reticulară,definesc noţiunea de materie cristalină.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

C R I S T A L O G R A F I E

1. NOTINUNI INTRODUCTIVE

II. O B I E C T U L S I P R O B L E M E L E C R I S T A L O G R A F I E I.

Aşa dar, cristalografia este ştiinţa despre cristale şi despre starea cristalină a materiei, în general.Specificul acestei ştiinţe este determinat de structura reticulară caracteristică şi de simetria formaţiunilor cristaline.

Cercetarea cristalografică duce la stabilirea unei complete legături între particularităţile fizico-chimice,între proprietăţile corpului cristalin,pe de o parte şi construcţia sa interioară geometric exactă, rezultată prin aranjarea strict regulată a particulelor sale componente, pe de altă parte. Acest lucru se reflectă şi în simetria, în aranjarea regulată a elementelor geometrice ale formelor exterioare ale cristalelor, ale poliedrelor cristaline.

Pe aceste baze se tratează variatele probleme ale cristalografiei care, după diferitele puncte de vedere din care se cercetează materia cristalină, se grupează în cîteva capitole:

Cristalografia geometrică.

Simetria,formele geometric exacte ale poliedrelor cristaline şi ale structurilor, se supun unor legi matematice.Capitolele dedicate geometriei formelor exterioare ale cristalelor şi structurii lor interne, pot constitui împreună,cristalografia geometrică. Unii autori prezintă simultan ambele aspecte ale cristalografiei geometrice; alţii prezintă mai întîi partea care priveşte geometria formelor exterioare şi apoi geometria structurii interne,care este mai complicată, aşa cum vom proceda, de

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

altfel şi noi, între altele şi din considerații de ordin metodic.

Cristalochimia. Legătura dintre structura cristalelor şi proprietăţile lor chimice formează obiectul cristalochimiei.

Radiocristalografia. Aşezarea spaţială şi orientarea reciprocă a atomilor sau ionilor în structura cristalelor se sudiază cu ajutorul razelor X, adică prin analiza roentgenografică. Metodele de cercetare a cristalelor cu raze X sînt cuprinse uneori în capitolele care studiază structura internă, dar în prezent, mai ales într-un capitol aparte, denumit adesea radiocristalografie.

Cristalogeneza. Formarea, creşterea, ca şi procesul invers de dizolvare sau topire, adică de distrugere a cristalelor, se studiază într-un capitol care este numit de obicei cristalogeneză.

Uneori aci se tratează şi tehnica formării monocristalelor în scopuri industriale.

Cristalografia fizică. Starea cristalină dă materiei o serie de proprietăţi fizice deosebite; aceste proprietăţi sînt studiate în capitolul care se intitulează cristalografie fizică sau fizica cristalelor.

In fapt, în acest capitol se face o prezentare a diferitelor categorii de proprietăţi fizice ale cristalelor, în general, dar o importanţă deosebită se acordă proprietăţilor optice.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CRISTALOGRAFIE

1.NOTIUNI INTRODUCTIVE

III. LEGATURA CRISTALOGRAFIEI CU ALTE ŞTIINŢE

După cele arătate, se poate înţelege uşor care sînt legăturile cristalografiei cu alte ştiinţe şi modul cum se realizează aceste legături.

Matematica. Legătura cu matematica ale cărei date, relaţii şi legi le foloseşte, aşa cum s-a mai amintit, se realizează în special prin cristalografia geometrică, dar şi în interpretarea datelor roentgenometrice, în optica cristalelor etc.

Chimia. Legătura cu chimia se realizează în special prin capitolele de cristalochimie şi cristalogeneză, dar şi prin stereochimia, care foloseşte datele privitoare la simetria structurii interne a cristalelor în studiul aşezării spaţiale şi al orientării reciproce a atomilor şi ionilor în molecule.

Fizica. Legătura cu fizica se realizează atît prin cristalografia fizică, în cea mai mare măsură, cît şi prin capitolele de radiocristalografie. După cum se ştie,fizica studiază proprietăţile gazelor, ale lichidelor şi ale corpurilor solide.Dar cristalele sînt reprezentanţii caracteristici ai corpurilor solide şi de aceea Fizica corpului solid se împleteşte strîns şi,în parte,capitolele lor se suprapun.

Disciplinele geologice. Pe de altă parte,o serie întreagă de discipline geologice recurg la ajutorul cristalografiei în cea mai mare parte a cercetărilor. Astfel, în primul rînd, mineralogia, foloseşte larg, încă de la începuturile sale ca ştiinţă, proprietăţile cristalografice în determinarea mineralelor şi, de la început, cristalografia a constituit un capitol preliminar al mineralogiei,aşa cum se întîmplă de altfel şi în prezent.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

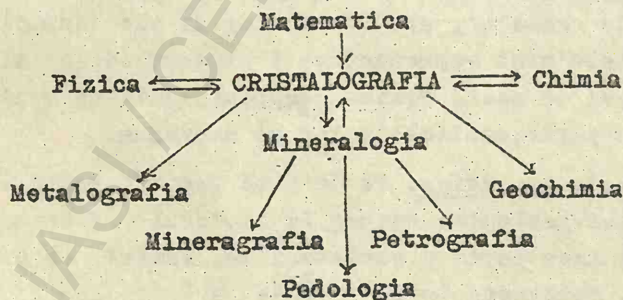
In aceeaşi măsură este legată cristalografia de petrografie care, în studiul rocilor utilizează larg metodele optice de cercetare a cristalelor şi de mineragrafie, care foloseşte de asemenea metodele cristaloptice în studiul minereurilor.

Studiul răspîndirii şi migraţiei elementelor în scoarţa terestră, care constituie obiectul geochimiei se bazează mai ales pe legile fundamentale ale cristalochimiei.

In plus, o serie întreagă de ştiinţe tehnice utilizează, într-o măsură mai mică sau mai mare, datele cristalografiei, cum sînt: metalografia, radiotehnica, arta minieră etc.

Dezvoltarea metalurgiei, a industriei optice şi a altor ramuri ale economiei ridică o serie întreagă de probleme cristalografice de importanţă primordială, iar producţia industrială a cristalelor cu anumite proprietăţi, cum sînt abrazivii, semiconductorii etc. capătă o importanţă din ce în de mai mare în progresul tehnic.

Cuprinzînd numai principalele discipline enumerate mai sus, legăturile cristalografiei cu acestea s-ar putea ilustra prin următoarea schemă:



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2
CRISTALOGRAFIE GEOMETRICĂ

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. CRISTALOGRAFIE GEOMETRICA

A. FORMELE POLIEDRICE ALE CRISTALELOR

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. A.

FORMELE POLIEDRICE ALE CRISTALELOR

FORMELE EXTERIOARE ALE CRISTALELOR

CRISTALUL, UN MEDIU.

Tratînd în această parte a cristalografiei geometrice problemele privitoare la formele exterioare ale cristalelor, este necesar să menţionăm de la început că vorbind de formele poliedrice ale cristalelor, trebuie să avem în vedere tot timpul că, aşa cum spunea marele cristalograf I.V.Vulf, "cristalul este un mediu şi nu un poliedru".

Trebuie să avem în vedere că forma poliedrică a cristalului este o consecinţă a aranjării geometrice a particulelor componente în structura sa internă şi că, în definitiv, această formă nu-i decît reflectarea evidentă a unor însuşiri ale acestui mediu.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. CRISTALOGRAFIE GEOMETRICĂ.

A. FORMELE EXTERIOARE ALE CRISTALELOR.

IV. E L E M E N T E L E   G E O M E T R I C E A L E   C R I S T A L E L O R.

1. LEGEA EULER-DESCARTES.

Formele poliedrice ale cristalelor sînt limitate de fețe plane. Aceste fețe se intersectează după muchi drepte, iar muchile, la rîndul lor, se intersectează în colțuri.

Fețele, muchile și colțurile constituie elementele geometrice ale formei și sînt dispuse în spațiu după anumite reguli sau legi.

Astfel, între elementele geometrice ale cristalelor există o relație simplă, stabilită de matematicienii Euler și Descartes, care constituie o lege ce le poartă numele și care se enunță astfel: La un poliedru cristalin, numărul de colțuri (C) plus numărul de fețe (F), este egal cu numărul muchilor (M) plus doi:

$F + C = M + 2.$

Astfel, în cazul cubului (fig.12), care are 6 fețe și 8 colțuri vor rezulta $6 + 8 - 2 = 12$ muchi (4 sus, 4 jos și 4 laterale).

2. LEGEA CONSTANTEI UNGHIURILOR

Observîndu-se diferite cristale ale acelorași minerale, s-a constatat că forma geometrică a fețelor lor este, uneori, foarte variată (triunghiuri, patrulatere, hexagoane etc.), în general, poligoane de forme foarte variate.

Tot astfel, mărimea și forma poliedrelor cristaline

ale unui acelaşi mineral, pot fi foarte variate, datorită dezvoltării neegale pe care o au feţele, atît în ceea ce priveşte forma lor, cît şi în ceea ce priveşte mărimea lor.

Astfel, la cristalele de cuarţ, este caracteristică o formă de prizmă hexagonală, terminată la capete cu cîte o piramidă hexagonală (fig. 13); rareori însă poliedrul cristalin va avea forma geometrică ideală, de cele mai multe ori vor fi întîlnite forme cu feţe foarte diferite ca mărime, contur şi chiar ca număr (fig.14 a,b,c).Adesea chiar cristalele formate în acelaşi loc sînt foarte diferite în ceea ce priveşte mărimea lor, foarte diferite în ceea ce priveşte dezvoltarea feţelor şi a muchiilor lor. Ele pot prezenta o serie întreagă de forme diferite între ele.

Se poate spune că fiecare cristal are trăsăturile lui individuale care îl caracterizează. Această variaţie se datoreşte condiţiilor ce-au dominat în timpul creşterii cristalului.

Dacă cristalul s-a putut dezvolta liber în toate direcţiile, el are forma poliedrică regulată;dacă însă a fost împiedecat , pe anumite direcţii, în creşterea sa, se dezvoltă normal numai pe direcţiile libere, iar feţele de acelaşi fel, care iau naştere în alte condiţii, vor căpăta alte forme şi se vor dezvolta la distanţe diferite de centru. Totdeauna ele vor avea însă, aceeaşi poziţie, vor fi orientate paralel cu feţele corespunzătoare ale formei ideale.

Mărimea cristalului,depinde de cantitatea de substanţă disponibilă la creşterea lui.

Intîlnite la toate mineralele, aceste variaţii arată însă că, mărimea cristalului, pe de o parte,forma şi mărimea feţelor şi muchilor lui, pe de altă parte, nu sînt caractere importante pentru specia minerală respectivă. Importante sînt unghiurile dintre feţe şi, pentru aceaşi specie minerală ele au aceeaşi valoare, indiferent de locul şi de condiţiile de dezvoltare pe care le-a avut cristalul.

In 1669, savantul danez Niels Stensen (Nicolaus Steno, 1638-1687), măsurînd unghiurile diedre pe care le fac

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

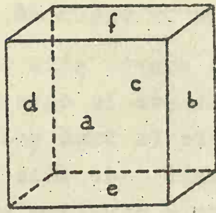


Fig. 12

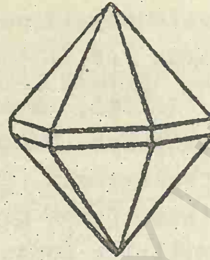
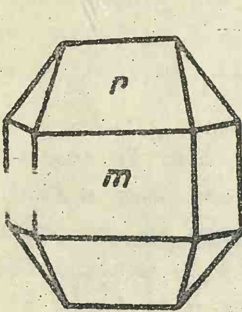
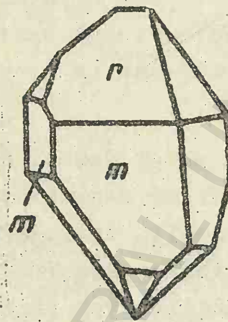
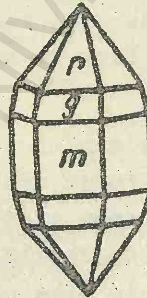


Fig. 13







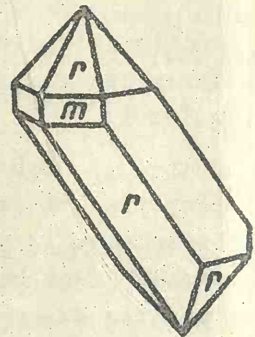


Fig. 14a   Fig. 14a

fig.14 a

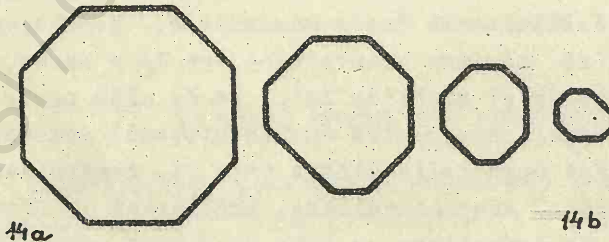


fig. 14 b

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

fețele cristalelor de caurț (SiO_2) și oligist (Fe_2O_3), a stabilit pentru prima dată că, indiferent de forma și mărimea acestor fețe, pentru același mineral, unghiurile formate de aceleași perechi de fețe, au aceeași valoare.

Astfel, unghiurile, dintre fețele de prismă hexagonală ale cristalelor de cuarț, sînt întotdeauna de 120°; unghiurile dintre fețele de piramidă, de 133°44', iar unghiurile dintre fețele de prismă și cele de piramidă, de 141°41' (fig.15).

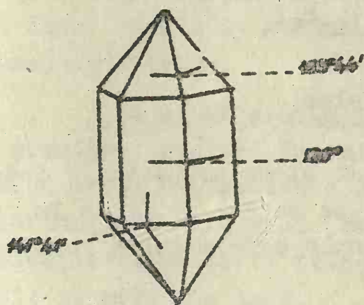


Fig. 15.

Această observație a lui Steno a fost însă dată uitării. In secolul următor, M.V.Lomonosov (1711-1765), studiind cristalele de salpetru (KNO_3) a ajuns la concluzia că forma poliedrică a cristalelor trebuie să fie datorată aranjamentului regulat al particulelor materiale componente, iar unghiurile dintre fețele de cristal, analoge, trebuie să fie riguros constante.

El a făcut măsurători de unghiuri la diferite cristale și în 1749, fără a cunoaște lucrările lui Steno, a regăsit din nou legea constanței unghiurilor.

De asemenea, fără a cunoaște lucrările anterioare, pe baza unui foarte mare număr de măsurători, francezul Romé de L'Isle (1736-1790) a stabilit definitiv legea constanței unghiurilor în 1779.

Din aceste motive legea constanței unghiurilor este cunoscută sub numele de legea Steno-Lomonosov-Remé de L'Isle sau, mai frecvent legea lui Steno.

In 1823, Mitscherlich, ținînd cont de faptul că dilatarea termică variază cu direcțiunea, face observația că la măsurarea riguroasă a unghiurulor trebuie să se precizeze și temperatura respectivă.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Completată cu această remarcă, legea constanței unghiurilor se formulează astfel:

Unghiurile diedre dintre același fel de perechi de fețe ale diferitelor cristale, din aceeași substanță, au totdeauna aceeași valoare la aceeași temperatură.

Ulterior, s-a constatat că această lege a constanței unghiurilor se aplică și celorlalte proprietăți vectoriale discontinui ale cristalelor: clivajul, maclarea etc., care sînt legate de asemenea de structura internă a cristalelor. Astfel, mineralul numit calcită ($CaCO_3$) clivează după fețele de romboedru, totdeauna cu un unghi de $105^{\circ}5'$.

2.1. Goniometria cristalelor

Aspectul exterior variat și uneori atît de deosebit de formele geometrice ideale, pe care-l întîlnim la cristalele reale, îngreunează foarte mult determinarea formelor simple ale acestor cristale.

Descoperirea legii constanței unghiurilor a avut de aceea, o deosebită importanță în istoria studiului cristalelor.

In urma numeroaselor măsurători goniometrice s-a strîns un bogat material, care a stat la baza descoperirii legilor geometrice ale simetriei și formelor de cristale.

De la început, marii cristalografi au dat o atenție deosebită exactității acestor măsurători și pentru aceasta, perfecționării aparatelor de măsurat unghiuri, goniometrelor.

a) Goniometrul de aplicație

Primul goniometru care, în formă îmbunătățită, s-a păstrat pînă în timpurile noastre este goniometrul de aplicație, inventat în 1783 de Carangeot (fig. 16).

El constă dintr-un raportor și din două rigle metalice AB și CD. Aceasta din urmă este fixă și închide raportorul pe

direcţia $0^{\circ}-180^{\circ}$, iar prima, situată în planul cercului, este mobilă şi se roteşte în jurul centrului acestuia.

Unghiurile dintre feţe se măsoară aplicînd cele două rigle cu muchiile pe cele două feţe, astfel ca muchia dintre feţele cristalului să fie prinsă exact la intersecţia celor două rigle, iar planul raportorului să fie perpendicular pe această muchie.

Citirea se face direct, începînd din C, pe raportorul care măsoară unghiul opus la vîrf, egal cu unghiul dintre feţe, sau începînd din D, citindu-se în acest caz suplimentul dintre normalele feţelor.

Cu acest goniometru măsurătorile nu sînt suficient de precise; repetînd de mai multe ori aceeaşi măsurătoare şi făcînd media aritmetică a citirilor, se obţin rezultate cu o aproximaţie de 1/2 grad. Pe de altă parte, gonimetrul de aplicaţie nu poate fi folosit decît pentru măsurători efectuate pe cristale mari.

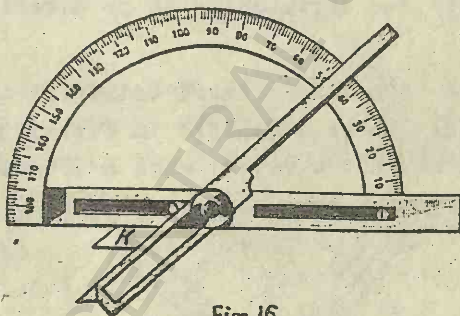


Fig. 16.

b. Goniometre cu reflexie

Măsurători foarte precise şi pentru cristalele cu feţe foarte mici, s-au realizat încă din sec. XVIII cu ajutorul unor goniometre care au la bază reflexia razelor pe feţele de cristal. Acestea se numesc goniometre cu reflexie şi sînt de două feluri : goniometre cu un cerc şi goniometre cu două cercuri gradate.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- Goniometrul de reflexie cu un singur cerc

Acest goniometru (fig.17) are ca părţi principale componente: un disc gradat (D) prevăzut cu un vernier (V), un colimator (C) şi o lunetă (L).

Pentru a măsura unghiurile dintre două feţe (a şi b) ale unui cristal (K) se procedează în modul următor:

Cristalul (K) se aşează astfel ca muchia dintre cele două feţe (a şi b), al căror unghi diedru vrem să-l măsurăm, să coincidă cu axa de rotaţie a discului gradat.

Se aduce cristalul, prin rotirea goniometrului, într-o astfel de poziţie, ca o rază de lumină (în fapt un fascicol paralel îngust) care vine prin colimator de la o sursă (xS), să se reflecte pe faţa (a) şi să ajungă, prin lunetă la ochiul observatorului. Se citesc diviziunile existente pe disc şi vernier.

Se roteşte cristalul pînă cînd raza se reflectă pe faţa următoare (b) şi ajunge din nou, prin lunetă, la ochiul observatorului. Se citesc din nou diviziunile de pe discul gradat şi vermier.

Unghiul de care s-a învîrtit cristalul de la o poziţie la alta este unghiul dintre normalele la cele două feţe, deci suplimentul unghiului dintre feţele a şi b (fig.18). In exemplul

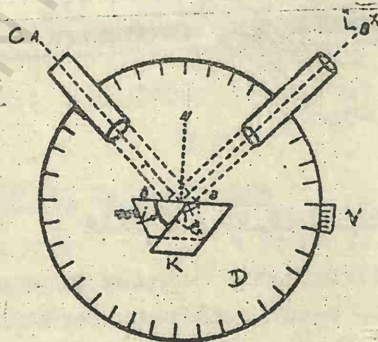


Fig. 17.

considerat, unghiul dintre normale este de 60°, iar unghiul dintre feţe, de 120°.

Unghiul dintre normale se mai numeşte şi unghi exterior, iar cel dintre feţele diedre, unghi interior.

Pentru feţele următoare, paralele cu aceeaşi direcţie, se continuă rotirea în acelaşi sens pînă la 360°, citindu-se diviziunile de cîte ori apare raza reflectată în cîmpul lunetei.

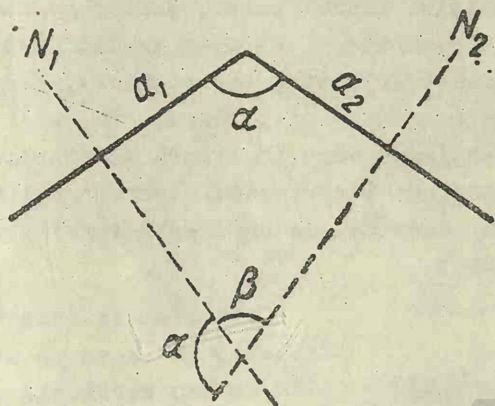
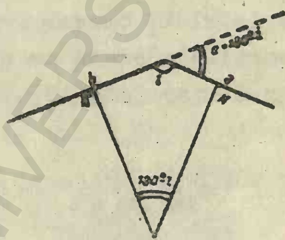


Fig. 18 a


Fig. 18b.

Pentru alte feţe, paralele cu alte direcţii, se aşează de fiecare dată cristalul cu cîte o muchie ce separă două feţe diedre în axa discului şi se procedează la fel.

Pe acelaşi principiu s-au construit diferite tipuri de goniometre; unele cu discul vertical (Wollaston, Mallard), altele cu discul orizontal (Fuess, Malus, Babinet etc.).

Construcţia lor s-a îmbunătăţit continuu. De exemplu, s-a aşezat sub cristal o oglindă, astfel ca să se primească două raze: una reflectată de oglindă, alta de faţa de cristal. Apoi, s-a pus pe oglindă o sticlă colorată, astfel ca să se deosebească cele două raze etc.

- <u>Goniometre de reflexie cu două discuri sau goniometre teodolit.</u>

Operaţia de centrare a goniometrului este foarte di-

ficilă iar în cazul goniometrului cu un singur disc, am văzut că trebuie să se repete această operaţie pentru fiecare serie de feţe cu normalele în acelaşi paln. Această dificultate a fost înlăturată prin construcţia goniometrului cu două discuri, inventat independent, de către E.S.Fedorov (1889) şi de către V.Goldschmidt (1890).

Bazate pe principiul teodolitului, aceste goniometre au ca părţi principale componente: un disc gradat vertical (meridian) şi un disc gradat orizontal (ecuatorial), ambele prevăzute cu vernier, un colimator şi o lunetă. Pe axa cercului vertical se găseşte un suport pe care se fixează cristalul. Cercul orizontal se învîrteşte în jurul axei sale verticale odată cu cercul vertical de care este legat printr-un stativ (fig.19).

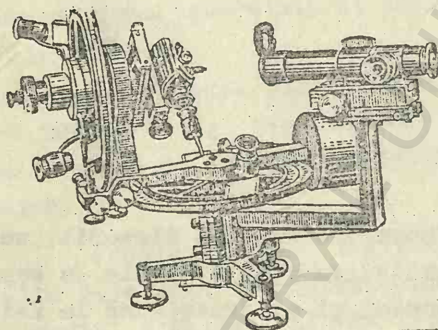


Fig.19.

Cristalul se aşează astfel ca o axă a sa să coincidă cu axa verticală a cercului orizontal. Goniometrul este pus la punct atunci cînd axa orizontală a cercului vertical,axa colimatorului şi axa lunetei se găsesc în acelaşi plan orizontal, intersectîndu-se între ele şi cu axa cercului orizontal,respectiv axa cristalului, într-un punct de pe aceasta.

Pentru măsurarea unghiurilor, după ce s-a pus la punct goniometrul, se rotesc cele două cercuri pînă ce se prinde în lunetă raza care vine de la o sursă luminoasă (S_x) prin colimator şi se reflectă pe faţa de cristal de la care se porneşte.

După ce se face citirea poziţiei iniţiale, se roteşte cercul vertical, în a cărui axă se găseşte cristalul cu una din axele sale, pînă ce se prinde în cîmpul lunetei, raza re-

flectată pe faţa următoare. Se face citirea, determinîndu-se unghiul dintre normalele celor două feţe diedre.

Se continuă apoi operaţia pînă la rotirea completă, de 360°. Se măsoară astfel, succesiv, unghiurile dintre normalele la feţe, care se găsesc în acelaşi cerc vertical, deci a tuturor feţelor paralele cu faţa iniţială, care continuie o zonă de feţe, respectiv, zona a (fig.20).

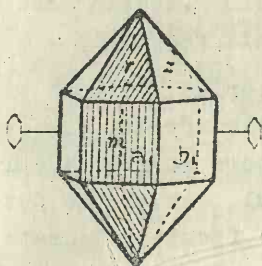


Fig.20.

Din poziţia iniţială (a_1) se roteşte cercul orizontal pînă se prinde raza reflectată pe faţa următoare (b_1) cu normala în alt plan vertical şi din nou se procedează la rotirea cercului vertical, respectiv a cristalului ca şi în cazul anterior.

Se obţin unghiurile dintre normalele la feţele din zona b.

Operaţiile se continuă în felul acesta, pînă cînd se efectuează şi cu cercul orizontal o rotire completă de 360°.

Uneori este nevoie să mai fie fixat odată cristalul, pe altă parte, pentru a măsura unghiurile feţelor paralele cu cele care au fost fixate pe suport.

2. 2. Polii feţelor de cristal. Coordonate polare

Dacă se consideră cercul orizontal şi cercurile verticale după care se intersectează o sferă care înconjoară cristalul, planele normalelor la feţe apar ca meridianele globului pămîntesc; cercul orizontal, ca ecuatorul globului pămîntesc, iar cercurile mici paralele cu el, ca paralelele sale (fig.21).

Poziţia normelor la feţe pe sferă, este determinată de intersecţia meridianelor cu paralelele şi se măsoară prin două unghiuri φ şi ρ .

Punctul unde normala la o faţă de cristal înţeapă sfera se numeşte polul feţei. Unghiul φ se măsoară pe cercul ecuatorial, începînd de la meridianul de origine, aflat în planul desenului, de la dreapta spre stînga. Unghiul ρ se măsoară pe meridianul care trece prin el, începînd de la polul nord al sferei.

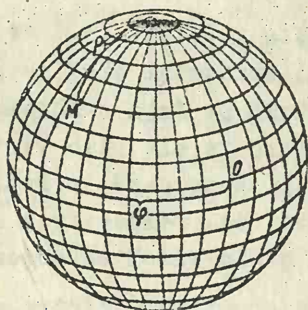


Fig.21.

Unghiul φ corespunde longitudinii geografice a polului de faţă, iar unghiul ρ ,complementului latitudinii sale geografice.

Unghiurile φ şi ρ reprezintă coordonatele sferice ale feţelor de cristal, care au fost măsurate cu goniometrul. Din ele se pot calcula unghiurile făcute de aceste feţe între ele. In fig.22 normala la faţa de cristal considerată, avînd polul P, are o poziţie determinată de coordonatele polare φ şi ρ .

In fapt pentru trecerea coordonatelor sferice se folosesc diagrame în care meridianele şi cercurile paralele de pe sferă se proiectează într-un plan, formînd aşa numitele reţele stereografice.

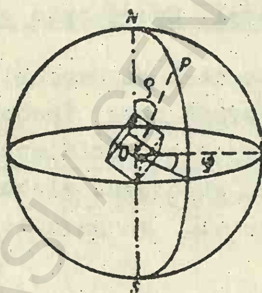


Fig. 22a

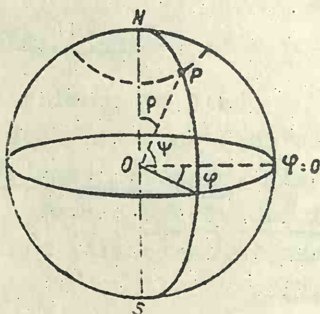


Fig.22.b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.3. Proecţia stereografică a feţelor de cristal.

a. Principii. Şi în această metodă, cristalul se consideră aşezat în centrul unei sfere (fig.23) la care se iau trei diametre perpendiculare ca axe de coordonate: y $\bar{y}$ (orizontal), z $\bar{z}$ (vertical) şi x $\bar{x}$ (perpendicular pe planul acestor două). Acestea sînt şi axe de referinţă pentru cristalul considerat (axe cristalografice).

Proiecţia stereografică se efectuează în două etape. In primul rînd, se duce din centru normala la faţa de cristal (a b c) şi se prelungeşte aceasta pînă cînd înţeapă sfera în punctul P.
Aceasta nu-i decît proiecţia sferică a feţei, iar punctul P, este polul feţei de cristal.
Coordonatele sferice ale polului feţei de cristal sînt deci, cele determinate goniometric (φ şi ϱ).

In a doua parte a operaţiunii, se ia cercul ecuatorial al sferei ca plan de proiecţie şi polul sud, $\bar{z}$, ca punct de vedere.

Punctul p, în care raza vizuală (proiectanta) P$\bar{Z}$ înţeapă cercul ecuatorial, reprezintă proiecţia polului feţei de cristal.(23 a).

Mai departe, se roteşte cercul ecuatorial de 90° în jurul axei y $\bar{y}$ astfel încît capătul pozitiv al axei x să ajungă în partea de jos, iar cel negativ, $\bar{x}$, în partea de sus. Cercul ecuatorial, cu proiecţia p a polului feţei (a b c), este astfel adus în planul desenului (fig. 23 b) El se numeşte cerc fundamental.
Aceasta este proiecţia stereografică a feţei de cristal.

Coordonata φ se măsoară pe cercul fundamental începînd din y, în sensul acelor de ceasornic, iar coordonata ϱ, se măsoară din centrul, (Z), al cercului de proiecţie, pe diametrul care trece prin punctul p.
Pentru feţele din emisfera inferioară se ia ca punct de vedere polul nord al sferei (Z) şi se procedează la fel (fig.23 c).

Pe proiecţie, polii din emisfera superioară se însemnă cu + sau cu un cerc plin • iar cei din emisferăa inferioară,cu un cerc gol o.

Proiecţia stereografică prezintă mai multe avantaje, între care:

- redă simetria cristalului;

- pe cercul de proiecţie încap polii tuturor feţelor de pe orice cristal;

- unghiurile se proiectează în adevărata lor mărime;

- cercurile de pe sferă (care în fapt reprezintă intersecţia planelor cu sfera), se proiectează tot ca cercuri. Cercurile mari,perpendiculare pe planul de proiecţie, se proectează ca diametre, care reprezintă arcele unor cercuri cu raza infinit de mare.

In fapt se lucrează cu reţelele sterografice de care am amintit mai sus.

O astfel de reţea este reţeaua lui Boldîrev, în care meridianele şi paralelele, din două în două grade, se proiectează pe cercul ecuatorial (fig. 23 d), sau reţeaua lui Vulf în care meridianele şi paralelele de acelaşi interval, se proectează pe un meridian, situat în planul desenului, pe y $\bar{y}$, numit meridian de origine (fig.23 e).

In ambele diagrame, coordonatele φ se se măsoară începînd din capătul din dreapta al diametrului orizontal al cercului fundamental, în sensul acelor de ceasornic, iar coordonatele ρ, din centrul cercului fundamental pe diametrele sale perpendiculare.

In mod obişnuit se folosesc astfel de reţele cu diametrul de 20 cm. sau 10 cm.

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

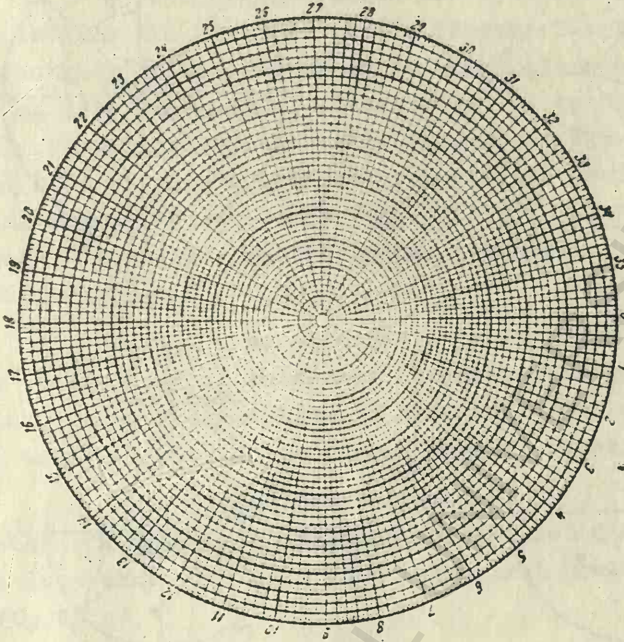


Fig. 23d.

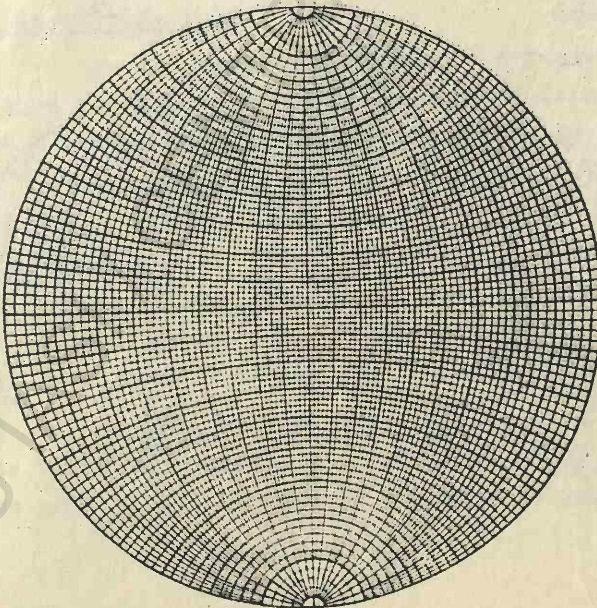


Fig. 23e

Fig. 23

Fig. 23 a

Fig. 23 b

Fig. 23c

Fig. 23.f.

Fig. 23g.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Construcţia reţelei Vulf

- Pentru construcţia meridianelor se împarte cercul de origine din 2^o în 2^o şi din fiecare diviziune se duc proectantele în punctul de vedere $\bar{z}$ (polul sud al sferei) şi se determină astfel intersecţia lor cu diametrul orizontal. Toate meridianele trecînd prin cei doi poli, nord şi sud(z $\bar{z}$) şi prin aceste intersecţii, nu rămîne decît să se ducă arcele de cerc care trec prin z $\bar{z}$ şi punctele de intersecţie respectiv, pentru a avea proiecţia fiecărui meridian (fig. 23 f).

- Pentru construcţia paralelelor se consideră punctul de vedere în y şi unindu-se fiecare diviziune de pe semicercul opus, cu y, se determină pe diametrul vertical proiecţia unui al treilea punct de pe cercul paralel respectiv.

Prin diviziunea respectivă, prin intersecţia astfel determinată şi prin diviziunea simetrică din semicercul opus, se duce arcul de cerc care reprezintă proiecţia paralelei (fig.23 g).

c. Cum se trec proiecţiile polilor feţelor de cristal în reţeaua Vulf.

Toate operaţiile se fac pe o foaie de hîrtie de calc, pe care se trasează cercul de origine (fundamental) şi cele două diametre perpendiculare (orizontal şi vertical).

Se suprapune hîrtia de calc cu desenul peste reţeaua Vulf.

Se numără pe cercul fundamental,începînd din capătul din dreapta al diametrului orizontal, notat cu φ_0, în sensul acelor de ceasornic, diviziunile care dau valoarea unghiului φ şi prin acest punct se duce un diametru al cercului(fig.23 h)

Se roteşte hîrtia de calc în jurul acului cu care este fixată în centru, pînă cînd diametrul trasat se suprapune cu unul din diametrele reţelei. Se numără pe acest dia-

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

metru, de la centrul care este originea unghiului ρ, (ρ_0) spre periferie, diviziunile corespunzătoare acestui unghi şi se notează punctul respectiv cu $\varphi\rho$ (fig.23 i).

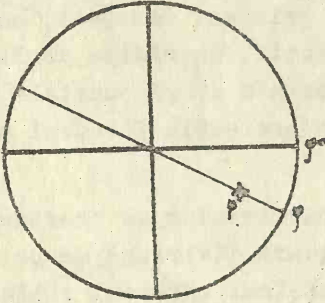


Fig. 23h.

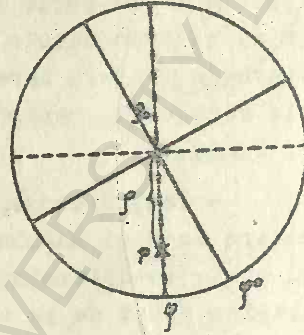


Fig. 23i.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.

CRISTALOGRAFIE GEOMETRICA

A. FORMELE EXTERIOARE ALE CRISTALELOR.

V. SIMETRIA CRISTALELOR

1. SIMETRIA, NOTIUNE UNIVERSALA

Una din cele mai evidente proprietăţi ale cristalelor este simetria; ea stă la baza clasificării corpurilor cristaline.

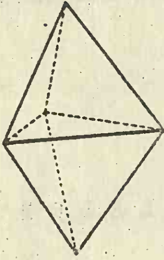
După cum am mai văzut, noţiunea de cristal era legată la început de formele poliedrice regulate pe care le îmbracă uneori mineralele. Chiar de la prima vedere, un asemenea cristal impresionează prin feţele perfect plane, prin muchile perfect drepte etc. şi prin regularitatea aşezării elementelor sale geometrice (feţe, muchi, colţuri), adică impresionează prin arhitectura sa exterioară ce variază după specia minerală căreia aparţine.

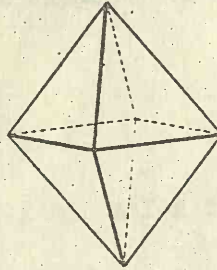
Acest ritm exterior (Al. Codarcea), această construcţie estetică a poliedrelor cristaline, este rezultatul repetării regulate a componentelor lor geometrice, care constituie simetria cristalelor (fig.24).

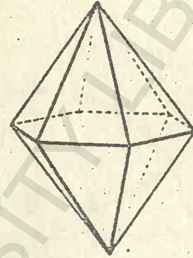
1.1. Simetria în natură

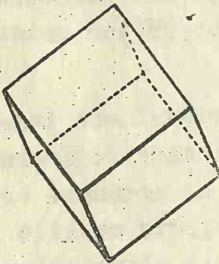
Simetria nu se întîlneşte numai la cristale. Ea poate fi observată la un număr mare de plante (la flori, la fructe etc.), cum sînt de ex. liliaceele cu 3 petale, 3 sepale, 3 stamine de acelaşi fel; cruciferele, cu 4 asemenea elemente; ranunculaceele cu cîte 5, ş.a.d. (fig.25).

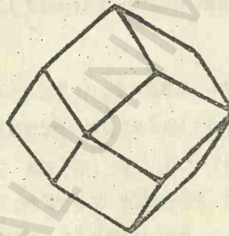
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

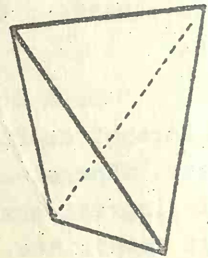

Fig. 24a


Fig. 24b


Fig. 24c


Fig. 24d


Fig. 24e


Fig. 24f.

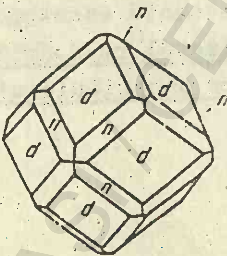


Fig. 24g.

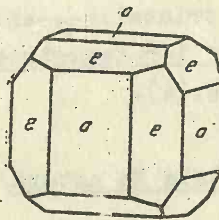


Fig. 24h

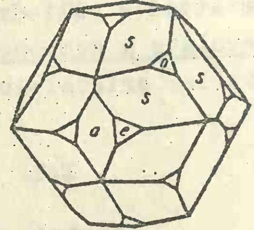


Fig. 24i

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME VARIATE DE CRISTALE LA ACELASI MINERAL.

Formele cristalelor unei substanţe pot fi foarte variate,dar toate aceste forme au aceeaşi simetrie.
Iată cum sînt prezentate într-un crochiu al lui N.Kokşarov 12 forme de cristale ale aceluiaşi mineral,granatul:

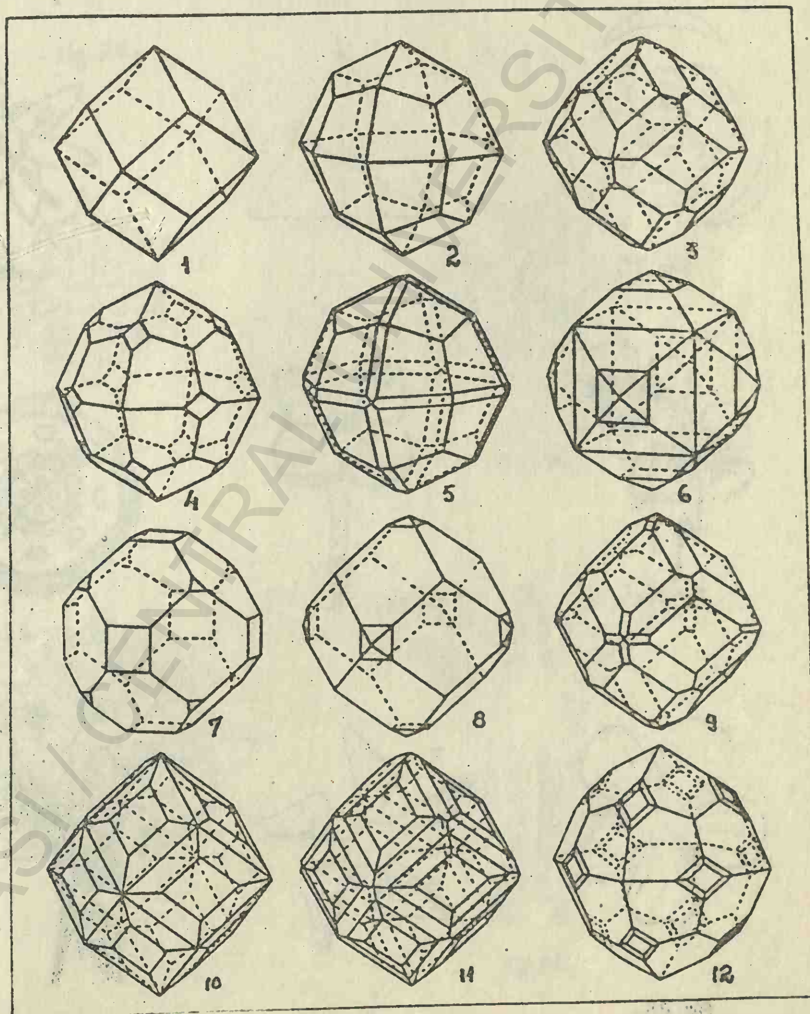


Fig. 24_{1-12}

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SIMETRIA LA PLANTE

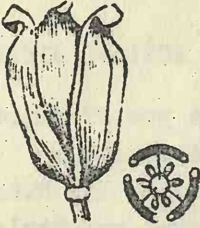


Fig. 25_1



Fig. 25_2

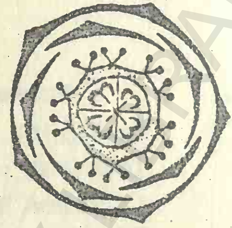


Fig. 25_3

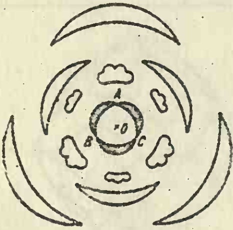
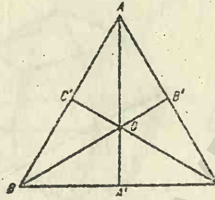


Fig. 25_4



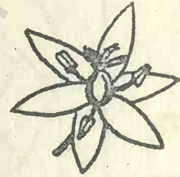


Fig. 25_5

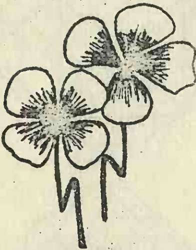


Fig. 25_6



Fig. 25_7

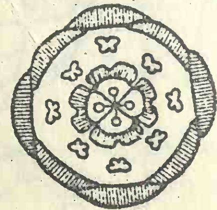


Fig. 25_8

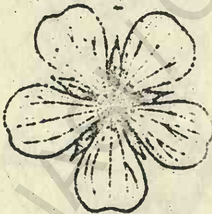


Fig. 25_9

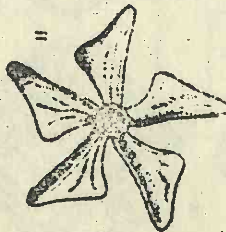


Fig. 25_{10}



Fig. 25_{11}

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SIMETRIA LA ANIMALE

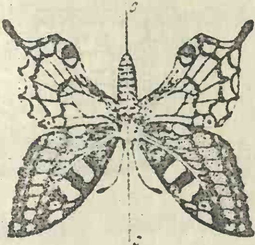


Fig. 26_1

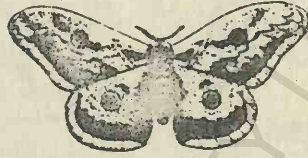


Fig. 26_2

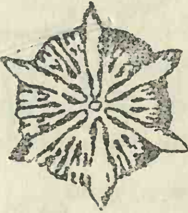


Fig. 26_5

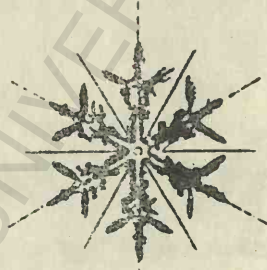


Fig. 26_3

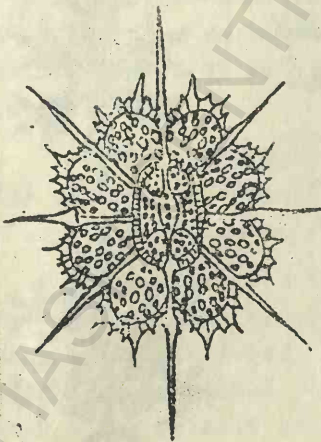


Fig. 26_8

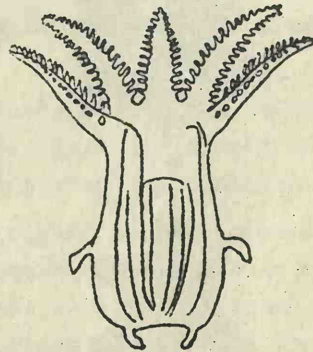


Fig. 26_6

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

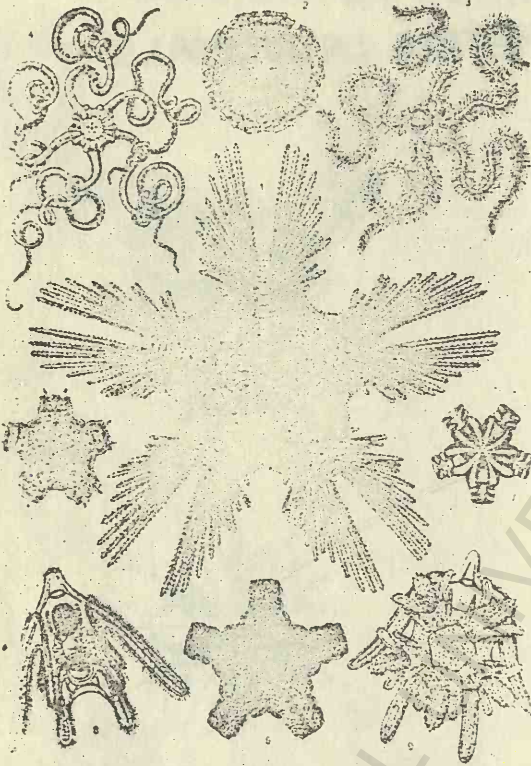


Fig. 26 9

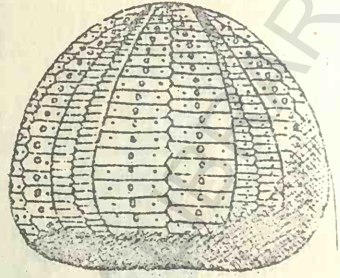


Fig. 26 4

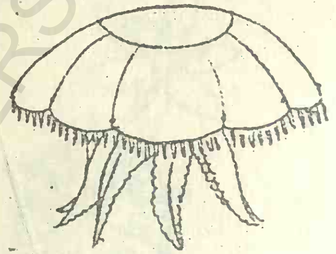


Fig. 26 7

FULGI DE ZĂPADĂ

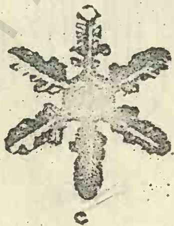


a

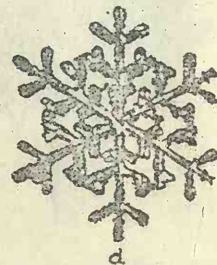


b

Fig. 26 10 a, b, c, d.



c



d

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Tot astfel de repetări simetrice pot fi observate şi la animale c , de ex. radiolarele, meduzele,coralii, echinidele etc. şi în deosebi în simetria bilaterală, atît de evident în structura animalelor superioare şi în special a corpului omenesc. (fig.26).

1.2. Simetria în artă.

Simetria produce şi un efect estetic ; este legată de frumos. De aceea a fost larg introdusă şi dezvoltată în artă, în arhitectură şi mai ales în artele decorative; tapetele, draperiile, stofele imprimate şi alte desene decorative îşi produc efectul lor estetic tocmai datorită acestor repetări regulate care dau simetria (fig.27).

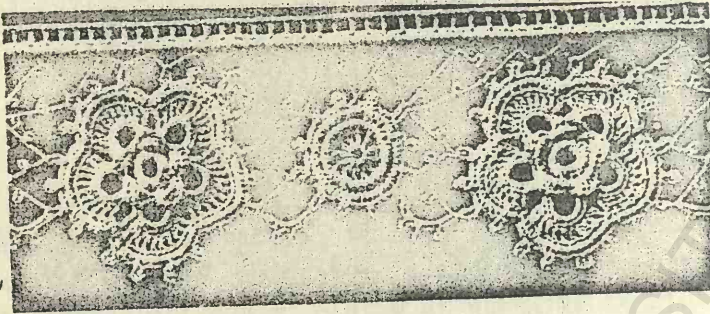
Intr-un înţeles mai larg, dar mai vag, noţiunea de simetrie exprimă "proporţia", "armonia", "echilibrul". Ea depăşeşte cîmpul obiectelor spaţiale şi implică şi aplicaţiile ei acustice şi muzicale etc. în afară de cele geometrice.

Omul a observat din cele mai veghi timpuri că există unele îmbinări ale elementelor din care sînt alcătuite plantele şi animalele, unele repetări ale lor care duc la o simetrie.
Le-a imitat, le-a dezvoltat şi le-a perfecţionat,introducîndu-le în opera sa constructivă şi în lucrările menite să-i îmbunătăţească şi să-i înfrumuseţeze viaţa, în creaţiile artistice.

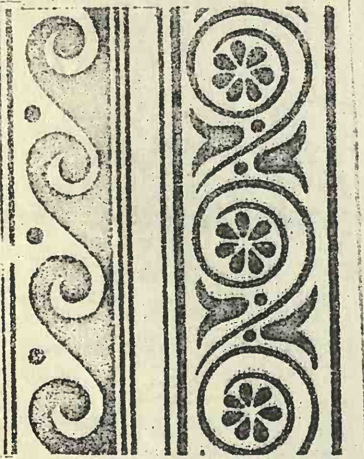
Din unele construcţii străvechi, care s-au păstrat pînă astăzi, se vede că anumite legi ale simetriei au fost cunoscute şi folosite de marii meşteri ai timpului.

In înţelesul de "proporţie" a fost folosit termenul de simetrie, în cartea sa "Despre proporţii", de către sculptorul grec din Argos, Polictet, care era apreciat pentru perfecţiunea armonioasă a sculpturilor sale şi tot în acest înţeles - l-a folosit şi marele pictor Dürer într-o lucrare despre proporţiile corpului omenesc din 1528.

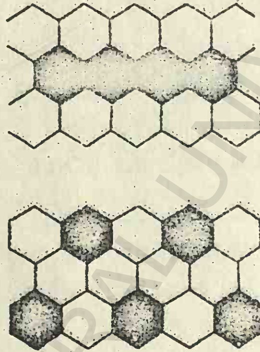
SIMETRIA IN ARTELE DECORATIVE



a



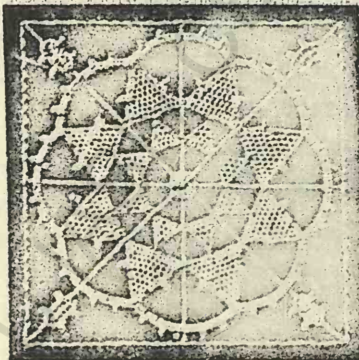
b



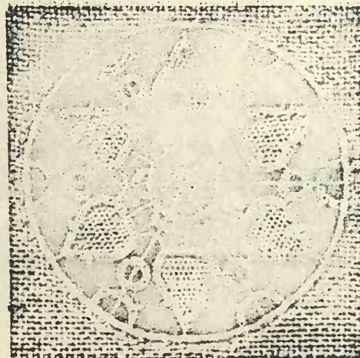
c



d



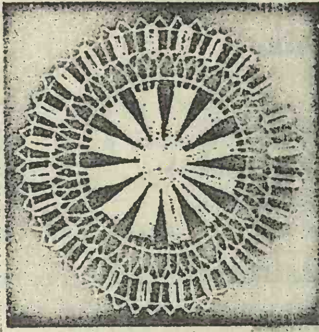
e

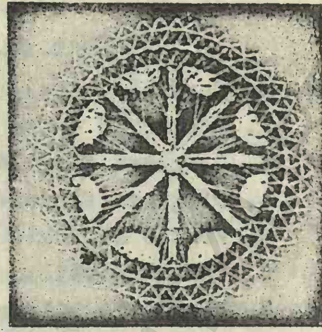


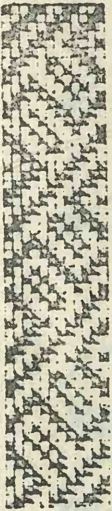
f

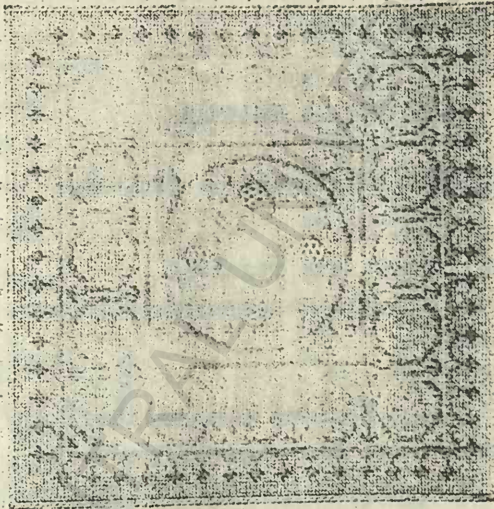
Fig. 27.

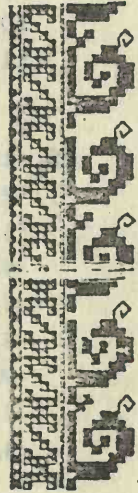
BCU CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY


g


h


i


j


k

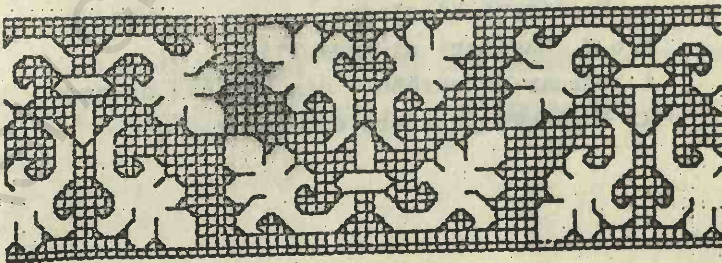

l

Fig. 27.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

EXPLICATIA FIGURILOR 25, 26 şi 27.

Simetria la plante.

25. 1. Capsulă de lalea.
2. Floare de iarba broaştelor.
3. Diagrama florală a bumbacului.
4. Diagrama florală a lalelei.
5. Floare de rugină.
6. Ferigă.Marsilia quadrifolia.
7. Floare de liliac.
8. Diagrama florii de aspidistra elatior.
9. Geranium.
10. Vinca herbaceea.
11. Salvia albă.

Simetria la animale.

26. 1.
2. Simetria bilaterală la fluturi.
3. Radiolar.
4. Echinide.Oursin regulier.
5,Hexacoralieri.Astrocyantus paradoxus.
6. Coral.
7. Meduză.
8. Radiolare.Zonidum octothalium.
9. Echinoderme din clasa Ophyodea.

Simeetria în artele decorative.

27. d. Ornament maur.
b. Friză monumentală greacă.
c. Mozaicuri bicolore.
a,e,f. Cusături şi broderii.
i. Chenar de cusături din Moldova de nord.
k. Cusături populare din Avrig.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1.3. Simetria, expresie a unei tendințe de echilibru

După cum am văzut, simetria apare ca un fenomen general, atît în lumea organică, cît și în cea anorganică. Ea pare să fie o lege generală a naturii și corespunde unei tendințe naturale de echilibru.

La viețuitoare, simetria duce la un echilibru vital.

La cristale, simetria exterioară, care nu-i decît o consecință a aranjării regulate a particulelor componente (atomi, ioni) din structura lor internă, simetria este o stare de echilibru a moleculelor fizice (fig. 28).

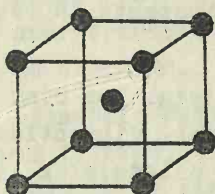


Fig. 28_1

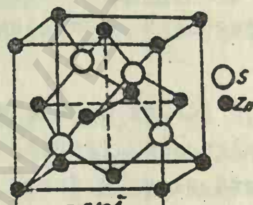


Fig. 28_4

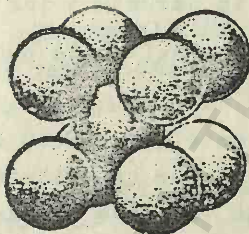


Fig. 28_2

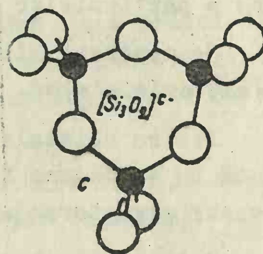


Fig. 28_3

1.4. Definiție. Simetria în general, poate fi definită ca repetarea regulată a unor componente de același fel.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1.5. Simetria la cristale

Intr-o concepţie geometrică riguroasă noţiunea de simetrie a fost precizată mai întîi în cercetările moderne asupra cristalelor (R.J.Haüy 1815, J.Kessel 1830), asupra poliedrelor simetrice şi asupra aranjării din strucrura internă (A. Bravais 1849, A.Godolin 1869) etc.

La cristale se deosebeşte o simetrie a formelor cristalografice, simetria externă a formelor poliedrice, a figurilor finite, care se traduce prin repeterea regulată a elementelor lor geometrice de acelaşi fel şi o simetrie a structurilor interne, a figurilor infinite, care rezultă din repetarea regulată a particulelor lor componente în reţeaua cristalină.

Aceste două simetrii ale cristalelor sînt strîns legate între ele. Proprietăţile vectoriale discontinui, care se manifestă şi prin forma exterioară a cristalelor, sînt o consecinţă a structurii reticulare. Prin urmare, şi simetria exterioară a poliedrelor cristaline este o consecinţă a aranjării regulate a particulelor materiale în structura lor internă.

De simetrie sînt legate cele mai multe proprietăţi fizice ale cristalelor.

Pentru cristale,simetria este lege. Dacă ea nu se manifestă întotdeauna în cazul formelor exterioare, în ceea ce priveşte structura internă ea se verifică în toate cazurile.

Unii cristalografi studiază atît simetria poliedrelor cristaline, cît şi simetria structurii interne a cristalelor în acelaşi capitol, cristalografia geometrică; alţii studiază simetria structurii interne în capitolul de cristalochimie, iar alţii în capitolul de cristalografie structurală.

Noi vom prezenta simetria structurii interne într-un asemenea capitol, după ce vom cunoaşte simetria poliedrelor cristaline.

2. SIMETRIA POLIEDRELOR CRISTALINE

Simetria formelor cristalografice se realizează prin repetarea regulată a elementelor lor geometrice, în esenţă a feţelor de cristal şi bine înţeles, a muchilor după care se intersectează aceste feţe şi a colţurilor în care muchile sînt concurente. Această repetare se face cu respectarea strictă a legii constanţei unghiurilor, a căror repetare intră deasemenea în definirea simetriei.

Aşezarea regulată a feţelor care limitează forma exterioară, ca şi a particulelor care compun structura internă a cristalului este consecinţa repetării lor în raport cu anumite elemente geometrice care se numesc elemente de simetrie, pe baza unor operaţiuni corespunzătoare acestora, numite operaţiuni de simetrie.

Simetria formelor cristalografice, ca şi simetria structurii interne, de altfel, se realizează pe baza unor elemente simple de simetrie şi a unor elemente de simetrie complexe, rezultate din combinarea acestora, prin aplicarea operaţiunilor de acoperire simple sau complexe.

Elementele simple de simetrie ale poliedrelor sînt axele de rotire,planele de oglindire şi centrul de inversiune sau, cum se mai numesc de obicei, axele,planele şi centrul de simetrie.

Operaţiile simple de acoperire care le corespund sînt, respectiv, rotirea, oglindirea şi inversiunea.

Din combinarea elementelor simple respectiv a operaţiunilor simple de acoperire, rotirea cu oglindirea sau rotirea cu inversiunea, rezultă axele complexe de simetrie.

Axele pot fi, prin urmare, sau axe simple sau axe complexe, dar în mod curent se numesc axe de simnetrie axele simple , de rotire.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.1. ELEMENTE SIMPLE DE SIMETRIE SI OPERATIUNI SIMPLE DE SIMETRIE SAU DE ACOPERIRE

a. Axele de rotire

Dacă privim o prismă cu baza patrată, prisma patratică sau tetragonală (fig.29), observăm de la prima vedere că cele patru feţe laterale identice sînt dispuse simetric în jurul unei direcţii A_4 A_4' care uneşte mijlocul feţelor de bază.

Considerăm prisma într-o poziţie iniţială (1) şi supunînd-o unei rotiri complete în jurul direcţiei A_4 A_4', vom constata că ea trece succesiv, la fiecare 90° prin patru poziţii identice (1,2,3 şi 4) care se suprapun sau se acoperă.

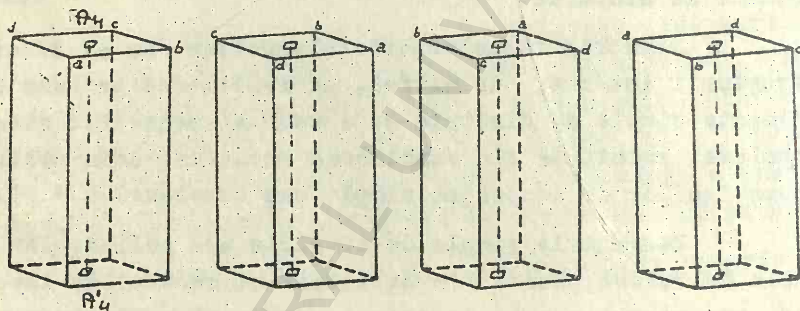


Fig. 29.

Direcţia $A_4A'_4$, în jurul căreia sînt dispuse simetric cele patru feţe, este un element de simetrie şi anume o axă de simetrie.

Operaţia pe baza căreia s-a produs repetarea regulată sau acoperirea succesivă a celor patru poziţii identice, adică rotirea, este o operaţie de simetrie sau de acoperire.

Tot astfel se petrec lucrurile şi în cazul unei reţele în care atomii ocupă colţurile unui paralelepiped elementar patratic. (fig. 30).

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Axele de rotare sînt direcţii în jurul cărora, prin rotirea completă, de 360°, a unei forme, aceasta capătă de n ori poziţii identice cu poziţia iniţială.

Numărul n de poziţii de acoperire se numeşte ordinul axei.

Unghiul de rotire pentru a se ajunge de la o poziţie la alta se însemnă de obicei cu litera α şi este egal cu $\frac{360^\circ}{n}$.

Axele de rotire se mai numesc şi gyre.

Ele se însemnă prescurtat cu litere ; de obicei cu iniţialele cuvîntului axă în limba respectivă, de ex. A din limba română, germană etc. Din limba franceză se mai însemnă cu L de la "ligne de simetrie" (linie de simetrie). Unii cristalografi (şcoala cristalografică de la Moscova etc.) propun generalizarea acestei notaţii pe plan internaţional, justificînd aceasta, atît prin nevoia uniformizării, cît şi prin simplitatea grafică a acestei exprimări. Profesorul Mircea Savul, care a predat Cristalografia la Secţia noastră de Geochimie, pînă în anul 1964, a introdus această notaţie şi la noi.

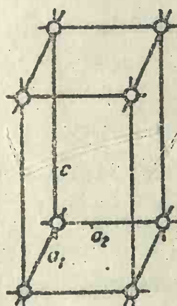


Fig.30

Se mai foloseşte şi iniţiala cuvîntului gyră, G sau g.

La aceste litere se adaugă gradul sau ordinul axei, notîndu-se astfel cu A^n, A_n, G_n, L^n etc.

La cristale, datorită restricţiilor impuse de reţeaua cristalină nu pot exista decît axe de ordinul 2,3,4 şi 6, respectiv L^2, L^3, L^4 şi L^6 la care corespund unghiurile de rotaţie

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2} = 180^\circ, \quad \alpha = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ, \quad \alpha = \frac{360^\circ}{4} = 90^\circ \text{ şi}$$

$$\alpha = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ.$$

Axele L^2, L^3, L^4, L^6 se mai numesc respectiv, axe binare sau digire, axe ternare sau trigire, axe cuaternare

sau tetragire şi axe senare sau hexagire.

In afară de acestea, orice direcţie din cristal poate fi considerată ca axă de ordinul 1 = L^1, întrucît, în urma unei rotiri de 360° în jurul său, forma se suprapune peste poziţia iniţială. Axa L^1 sau monogira nu este însă o axă de simetrie şi se foloseşte numai în unele deducţii şi demonstraţii.

La un cristal pot exista în acelaşi timp mai multe feluri de axe, de oridine diferite şi pot exista mai multe axe de acelaşi ordin, identice. Aşa este în cazul prismei trigonale (fig. 31) care are o axă L^3 ce uneşte mijlocul feţelor de bază şi trei axe identice L^2, perpendiculare pe mijlocul acesteia şi care unesc mijlocul fiecărei muchi laterale cu mijlocul feţei opuse. Acestea se scriu $L^3\ 3L^2$.

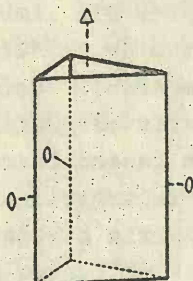


Fig.31

Dacă la un cristal sînt mai multe axe de acelaşi ordin dar care ocupă pe forma cristalografică poziţii diferite, se pot scrie separat. De exemplu, prisma ortogonală cu secţiunea rombică (fig.32) are trei axe L^2 dar, una uneşte mijlocul feţelor de bază, rombice, alta uneşte mijlocul muchilor laterale opuse ale feţelor care fac un unghi diedru obtuz, iar a treia uneşte mijlocul muchiilor laterale opuse formate de feţele care fac între ele un unghi ascuţit.

Se scriu separat: $L^2\ L'^2\ L''^2$.

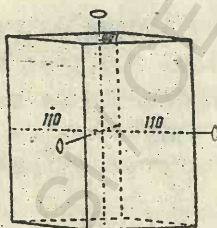


Fig.32.

La cristalele care au axe de diferite ordine, axele de ordinul cel mai înalt se numesc axe principale, aşa cum este de ex. L^3 la prisma trigonală.

In diagrame axele de simetrie se însemnă punînd în capetele proiecţiilor lor nişte semne care arată simetria respectivă:

0 = L^2, △ = L^3, □ = L^4 şi ⬡ = L^6.

De ce nu sînt posibile alte ordine de axe la cristale

După cum am văzut în prima parte, ochiurile de rețea, paralelogramele elementare, trebuie să fie paralele, adiacente după laturi întregi şi să umple spaţiul în întregime, fără goluri.

In cazul axei de ordinul 5, nu se pot forma paralelograme din nodurile rețelei, iar pentagoanele regulate care se formează, avînd unghiurile de 108°, cifră care nu se cuprinde de un număr întreg de ori în 360°, nu se pot grupa în număr întreg în jurul unui colț, fără să lase goluri de altă formă între ele (fig. 33).

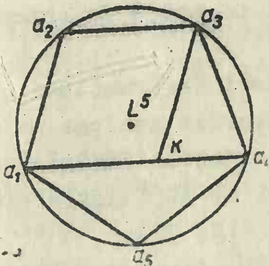
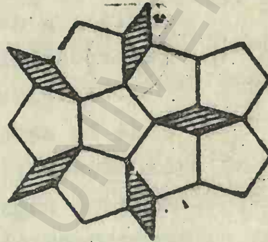


Fig. 33a


Fig. 33b.

La fel se întîmplă şi în cazul axelor de ordin mai mare ca 6.

In lumea viețuitoarelor pot exista asemenea axe. Ex. ranunculaceele, rozaceele, apoi meduzele etc.

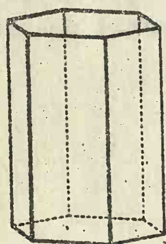
Forme ideale şi deformaţiuni cristaline

La cristalele reale, mai rar se întîlnesc forme poliedrice perfecte, ideale; mai frecvent, din cauza condiţiilor în care acestea se dezvoltă, se întîlnesc aceste forme poliedrice, deformate; cu fețe de acelaşi fel mai mult sau mai puţin desvoltate. După cum am văzut însă, în conformitate cu

legea constanței unghiurilor, oricum s-ar desvolta, fețele își păstrează o poziție paralelă cu cea a formelor geometrice ideale.

In acest caz fețele, muchile și colțurile prin învîrtirea în jurul unei axe L^n, nu se mai suprapun perfect ca poziție în spațiu ca la formele geometrice ideale, ci, capătă numai orientări succesiv paralele, indiferent de distanța lor de axă.

Să luăm ca exemplu o prismă hexagonală (fig.34). La forma regulată secțiunea este un hexagon regulat, ABCDEF. Această prismă admite o axă senară, L^6. Prin rotirea formei de 60° în jurul acestei axe, prisma ajunge la poziția a doua, identică cu prima, perfect superpozabilă.


Fig.34a

In cazul unei deformațiuni cristaline la care laturile analoge au dimensiuni diferite, fețele făcînd însă aceleași unghiuri de 120° între ele, secțiunea este un hexagon neregulat (fig. 35).

Prin rotirea de 60° în jurul axei L^6, aceasta ajunge în a doua poziție, care nu mai este superpozabilă cu poziția primă. Fețele capătă, însă, orientări paralele, iar normalele la fețe, chiar poziții identice.

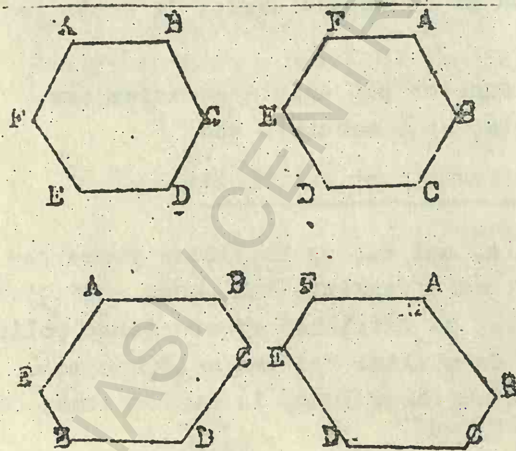


Fig. 35

Pentru cristale deci, mai general și mai riguros, o axă de simetrie se definește ca o dreaptă în jurul căreia, prin rotirea cristalului de 360°, fețele capătă de n ori orientări identice cu orientarea inițială.

b. Planele de simetrie

Planul de simetrie este planul imaginar care taie forma poliedrică în două jumătăţi care apar, una faţă de cealaltă, ca un obiect faţă de imaginea lui în oglindă.

Planul de simetrie este bisector şi pentru toate proprietăţile cristalului.

Operaţiunea de acoperire este, în acest caz oglindirea şi de aceea planele de simetrie se mai numesc, riguros, plane de oglindire.

Elementele geometrice ale poliedrului cristalin se repetă prin reflexie în partea opusă planului, dar, prin rotire, acestea nu se mai suprapun ca de obicei. Ex.fig.36.

Planele de simetrie corespund unor plane reticulare de mare densitate şi de aceea ele sînt feţe posibile de cristal.

Ca şi axele de simetrie, planele se înseamnă prescurtat cu litere care sînt de obicei iniţialele cuvîntului plan în limba respectivă, ca P în limba română ş.a., E în limba germană (Eben) etc. In limba franceză se înseamnă cu litera m, iniţiala cuvîntului miroir , oglindă.

Planele pot ocupa diferite poziţii în cristale însă totdeauna trec, sau prin muchii sau prin mijlocul fetelor de cristal (fig. 37).

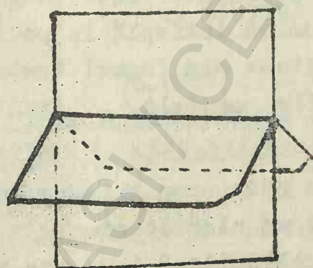


fig.36.

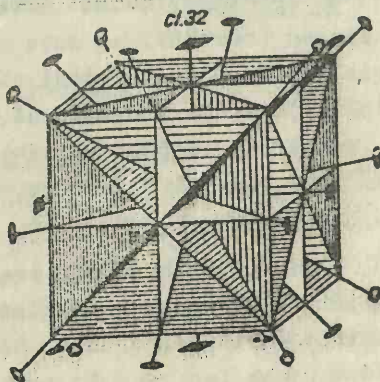


Fig.37.

Atunci cînd cristalul are şi axe de simetrie, planele de simetrie trebuie, sau să fie perpendiculare pe acestea, sau să le conţină.

Planele perpendiculare pe axele principale se numesc plane principale şi uneori se înseamnă cu litera grecească π.

In cazul axelor perpendiculare pe un plan, se mai obişnueşte să se scrie ordinul axei în partea dreaptă, sus, a literei P; pentru axele L^2, L^3, L^4, L^6 se scrie, respectiv, P^2, P^3, P^4, P^6, dacă planul perpendicular pe axa de ordin superior nu-i însemnat cu π, ca plan principal.

Dacă sînt mai multe axe de ordinul 2 cu poziţii diferite, de ex. L^2 L'^2 L''^2 în cazul prismei rombice, se indică aceasta şi la planele perpendiculare respective, scriindu-se în cazul arătat:

L^2 L'^2 L''^2

P^2 P'^2 P''^2.

In cazul cînd lipsesc axele perpendiculare pe plane, dar acestea ocupă poziţii diferite în forma de cristal, se înseamnă ca şi axele care lipsesc cu P,P',P'', fără însă să se scrie ordinul axei, ex.la piramida rombică (fig.38):

L^2 - -

\- P' P''.

<u>La cristale,</u> avînd în vedere şi deformaţiunile, care se întîlnesc frecvent, nu este necesar, în cazul planului de simetrie, ca una din jumătăţi să se suprapuie peste imaginea celeilalte jumătăţi din oglindă, cum se întîmplă la poliedrele geometrice ideale. Feţele repetate ale formei trebuie însă să aibă aceeaşi orientare, să fie paralele cu imaginea lor în oglindă.

Dacă luăm din nou ca exemplu secţiunea transversală a unei prisme hexagonale regulate şi un plan de simetrie P care taie această formă (fig. 39), colţurile B,C,D, se vor suprapune peste imaginea în oglindă a punctelor A,F,E. Nu

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Același lucru se va întîmpla însă, în cazul unei deformațiuni cristaline, a unei prisme hexagonale neregulate (fig.40) Aici, colțul B al cristalului nu se mai suprapune peste imaginea în oglindă A' a colțului A și deasemenea nici colțul C peste F' și nici D peste E'.

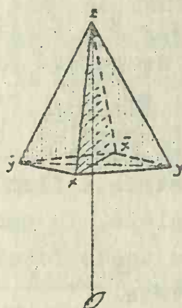


Fig.38.

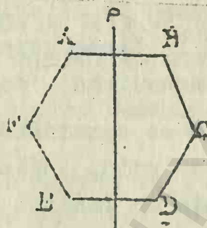


Fig.39.

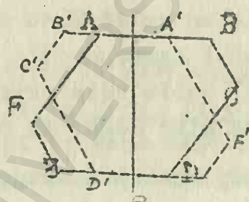


Fig.40.

Totuși se vede că fața reprezentată prin BC este paralelă cu imaginea A' F' și la fel CD este paralelă cu F'E'. P este deci un plan de simetrie în sens cristalografic.

Pentru cristalele reale, un plan de simetrie este un plan imaginar care împarte forma în două părți, astfel că una din ele are fețele paralele cu imaginea în oglindă a fețelor celeilalte părți.

c. Centrul de inversiune

Un punct din interiorul cristalului, față de care toate elementele geometrice ale formei se repetă în partea opusă la distanță egală, este un centru de simetrie.

Dacă luăm un punct A (fig. 41) și vrem să-i determinăm simetricul său față de centrul de simetrie C, unim acest punct cu centrul de simetrie și apoi prelungim dreapta AC în sens invers față de centru și la distanță egală, pînă într-un alt punct, B, care este simetricul lui A.

După cum vedem, operaţiunea prin care se face repetarea, este inversiunea. De aceea, centrul de simetrie se mai numeşte şi centru de inversiune.

Şi centrul de simetrie se însemnă cu iniţiala cuvîntului centru în diferite limbi (C în limba română şi franceză, Z în limba germană etc.) şi tinde să se însemne, pe plan internaţional, cu litera C.

Dacă se consideră trei puncte, A , B , C (fig.42), care după cum ştim, definesc un plan,şi se repetă prin inversiune faţă de centrul C, punctele A', B', C', rezultate vor defini de asemenea un plan care va fi paralel cu primul.

La un cristal cu centru de simetrie,C,fiecărei feţe trebuie să-i corespundă o altă faţă paralelă, în partea opusă şi invers, poliedrele cristaline care au toate feţele paralele, două cîte două, au centru de simetrie.

Bipiramida tetragonală (fig.43) care are feţele paralele două cîte două, are centru de simetrie, pe cînd bipiramida trigonală (fig.44) care nu are feţe paralele, nu are centru de simetrie.



Fig.41.



Fig.42.

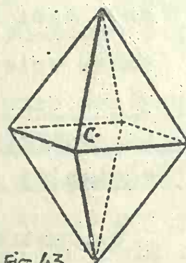
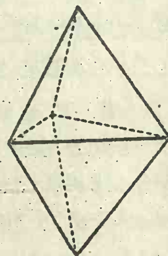


Fig.43.


Fig.44.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

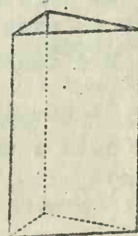
Ca să existe centru de simetrie, este necesar ca toate feţele să fie paralele două cîte două. La prisma tetragonală (fig. 45), care are centru de simetrie, toate feţele sînt paralele două cîte două, pe cînd la prisma trigonală, care are numai bazele paralele (fig.46), feţele laterale fiind neparalele, lipseşte centrul de simetrie.

Faţă de centrul de simetrie sînt simetrice şi toate proprietăţile cristalului.

La cristalele reale nu este nevoie ca elementele geometrice, respectiv punctele care le definesc, să fie situate la distanţe egale de simetricele lor faţă de centrul de inversiune.

Centrul de simetrie se defineşte aici ca un punct faţă de care, oricărui punct al cristalului, îi corespunde, în partea opusă, un punct analog şi în consecinţă, oricărei feţe de cristal îi corespinde în partea opusă o faţă analogă paralelă.


Fig.45.


Fig.46.

2.2. ELEMENTE COMPLEXE DE SIMETRIE SI OPERATIUNI COMPLEXE DE SIMETRIE

In unele cazuri, elementele geometrice ale poliedrelor cristaline se repetă simetric numai în urma unor operaţiuni complexe de simetrie, rezultate prin combinarea cîte

două a operaţiunilor simple pe care le cunoaştem, numai în urma operaţiunilor complexe de rotire-oglindire şi de rotire inversiune. Evident că cele trei operaţiuni simple de simetrie, rotire oglindire, inversiune, pot fi combinate cîte două în trei moduri, dînd deci naştere şi unei a treia operaţiuni complexe, oglindirea-inversiunea. Această combinaţie însă, este echivalentă cu o rotire simplă în jurul axei L^2, perpendiculară pe planul component şi deci nu duce la un element nou de simetrie, specific.

Celelalte două combinări duc însă la elemente noi de simetrie, complexe şi anume: axa de rotire-oglindire şi axa de rotire-inversiune numită adesea simplu, axă de inversiune.

a. Axele de rotire-oglindire

Axa de rotire oglindire este o direcţie în jurul căreia, în urma unei operaţiuni complexe de simetrie, compusă dintr-o rotire $\alpha' = \frac{\alpha}{2}$ urmată de oglindirea într-un plan perpendicular pe axă, elementele geometrice ale cristalului se repetă alternativ de cîte n ori, cu poziţii identice, de-o parte şi de alta a planului component.

Aşa sînt de ex. dispuse colţurile unui romboedru, de-o parte şi de alta a unui plan perpendicular pe axa de ordinul 3 (fig. 47), ca şi la cub (47b)

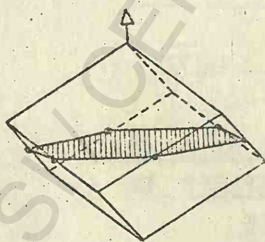


Fig. 47 a

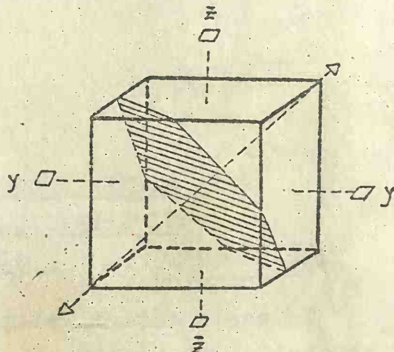


Fig. 47b.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Cele două operaţiuni simple componente se efectuează simultan şi constituie o singură operaţiune complexă de simetrie. Unghiul de rotire α', după care se compun cele două operaţii simple, ca şi unghiul α de la axele simple de simetrie şi din aceleaşi motive, nu poate avea decît valorile de 60°, 90°, 120° şi 180°.

Unii autori stabilesc ordinul axei de rotire-oglindire după unghiul pe care l-am însemnat noi cu α' şi deci consideră că sînt axe de rotire-oglindire de ordinele n'=6,4,3 şi 2.

Aceste axe mai sînt denumite şi giroide; prin urmare, în sensul arătat, se numeşte hexagiroidă axa de ordinul n'=6, tetragiroidă, axa de ordinul 4, trigiroidă, axa de ordinul 3 şi digiroidă, axa de ordinul 2. Ele se notează, respectiv, cu $\bar{G}_6$, $\bar{G}_4$, $\bar{G}_3$, şi cu $\bar{G}_1$ pentru monogiroidă.

Ţinînd seama însă de faptul că numărul poziţiilor identice ale elementelor geometrice repetate în jurul axei de fiecare parte a planului, este egal cu $\frac{360}{2}$, axa cu rotirea elementară de compunere a celor două operaţii, $\alpha'=60^\circ$, de exemplu, este o axă ternară. Repetarea de-o parte şi de alta a planului se face numai de cîte trei ori.

Tot aşa, axa cu rotirea elementară $\alpha' = 90^\circ$ după care elementele geometrice se repetă alternativ de fiecare parte a planului numai de două ori, după unghiul $\alpha = 180^\circ$, este o axă binară.

Bine înţeles că, într-o singură rotire completă, unghiul $\alpha = 2\alpha'$, nu poate duce la o repetare decît pentru valorile de 120° şi 180°, deci nu putem avea, în acest mod, decît axele de rotire-oglindire de ordinul $n = \frac{360^\circ}{120} = 3$ şi $n = \frac{360^\circ}{180^\circ} = 2$, respectiv, cu $n' = \frac{360^\circ}{60} = 6$ şi $n' = \frac{360^\circ}{90} = 4$.

Axele de rotire oglindire se notează în mod obişnuit, punînd amîndoi aceşti indici; cel mic sus şi cel mare jos, în dreapta literei cu care se notează axele, $L^{n}_{n'}$, sau L^{n}_{2n}, de ex. L^3_6 şi L^2_4 ori A^3_6 şi A^2_4. Unii cristalografi mai notează

BCU CLUJ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

aceste giroide cu A^6, A^4,

Grafic, axa L_6^3 se reprezintă cu un triunghi înscris într-un hexagon ⬡, iar axa L_4^2, printr-o formă lenticulară (semnul axei L^2) înscris într-un patrat, ⊘

Compunerea celor două operaţii după rotirea elementară $\alpha' = 120^\circ$ şi $\alpha' = 180^\circ$ duce la rezultate echvalente cu cele obţinute prin alte operaţiuni de simetrie, simple.

Pentru ilustrarea celor de mai sus, vom considera un punct, pe care îl vom repeta prin rotire-oglindire, după fiecare din cele patru unghiuri elementere $\alpha' = 60^\circ$, $\alpha' = 90^\circ$, $\alpha' = 120^\circ$ şi $\alpha' = 180^\circ$.

Axa L_6^3, corespunzătoare unghiului $\alpha' = 60^\circ$.

Luăm o axă verticală (fig.48) pe capetele căreia trasăm perpendicular, drepte care fac între capetele lor unghiuri de 60°, iar perpendicular pe mijlocul axei considerăm un plan de simetrie.

Luînd acum un punct în poziţia 1 şi efectuînd prima parte a operaţiei complexe, rotirea de 60°, în sens invers celui al acelor de ceasornic, punctul va ajunge într-o poziţie intermediară, 1'.

Efectuînd a doua parte a operaţiei complexe, oglindirea în planul perpendicular, punctul va ajunge în poziţia 2. Continuînd operaţia în acelaşi sens, el va trece succesiv, prin poziţia intermediară 2', ajungînd în poziţia 3; prin poziţia intermediară 3', în poziţia 4; prin poziţia intermediară 4', în poziţia 5; prin poziţia intermediară 5' în poziţia 6 şi prin poziţia intermediară 6', în poziţia iniţială (1).

Vedem că cele trei poziţii identice pe care le ocupă punctul în capătul superior al axei din 120 în 120 de grade (1,3,5) sînt decalate faţă de analogele lor din jurul capătului inferior al axei (2,4,6), de cealaltă parte a planului, cu 60°.

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Aşa se întîmplă cu 6 colţuri ale cubului faţă de o axă care uneşte alte două colţuri opuse şi tot aşa se întîmplă cu 6 colţuri ale romboedrului faţă de o axă L^3 ce uneşte celelalte două colţuri (fig. 49).

Fig. 48

Fig. 49.

In ambele cazuri avem de-a face cu axe de rotire-oglindire.

Dacă se consideră, pe de o parte punctele 1,3,5, iar pe de altă parte, 2,4,6 din partea opusă; se observă că axa L_6^3 nu este decît combinaţia axei de rotire L^3 cu un centru de simetrie.

Unii cristalografi consideră că-i vorba aici de o axă simplă de rotire L^3 şi de un plan perpendicular, faţă de care, o jumătate a cristalului devine oglindirea celeilalte jumătăţi numai după ce s-a învîrtit în jurul axei de un unghi $\frac{\alpha}{2}$. Din cauză că diferitele elemente ale formei se repetă simetric alternativ faţă de plan, acesta este numit plan de simetrie alternă şi se înseamnă cu litera ω. (fig. 47).

Axa L_4^2, corespunzătoare unghiului $\alpha' = 90^\circ$.

In cazul acesta luăm axa verticală L^2 şi ducem pe capetele ei două direcţii perpendiculare, iar apoi considerăm un plan perpendicular pe mijlocul ei(fig.50).

După efectuarea primei părţi a operaţiei complexe, rotirea de unghiul α'; punctul din poziţia 1, trece în poziţia de tranziţie 1'; de unde, prin oglindire (a doua

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

parte a operaţiei complexe), ajunge în poziţia 2. Continuînd operaţia complexă,punctul va trece prin poziţia de tranziţie 2' şi va ajunge în poziţia 3; va trece apoi prin poziţia de tranziţie 3' şi va ajunge în poziţia 4, iar apoi, trecînd prin poziţia de tranziţie 4' va ajunge în poziţia iniţială (1), în încheierea rotirii complete.

Aşa este, de ex., cazul tetraedrului (fig.51 a). Prin rotire în jurul axei L^2 de $\frac{\alpha}{2} = 90^0$ forma trece în poziţia (b), iar în poziţia identică cu poziţia iniţială (a), ajunge după o oglindire în planul perpendicular, poziţia (c). Si aici planul perpendicular pe axă este un plan de simetrie alternă; după o rotire de α'^0, o jumătate a formei capătă o poziţie de

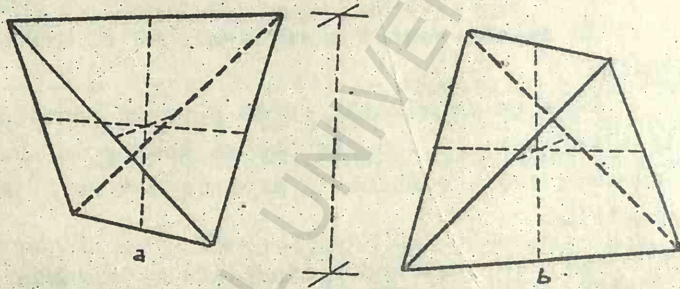


Fig.51.

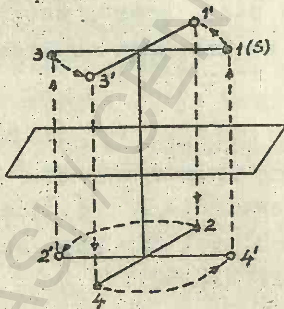


Fig.50.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

oglindire față de cealaltă jumătate (fig. 52).

In cazul rotirii elementare $\alpha' = 120^{\circ}$

Construim acelaşi sistem ca şi în cazul axei de rotire oglindire L_6^3 (fig. 53).

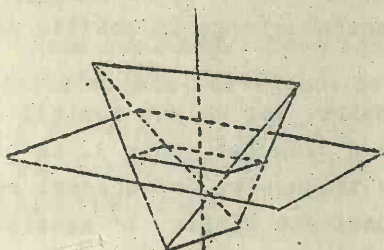


Fig. 52a

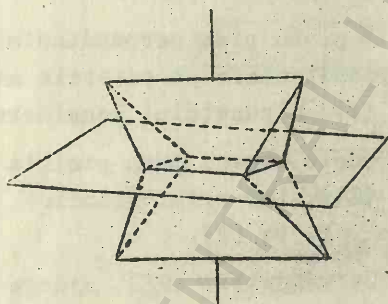


Fig. 52b

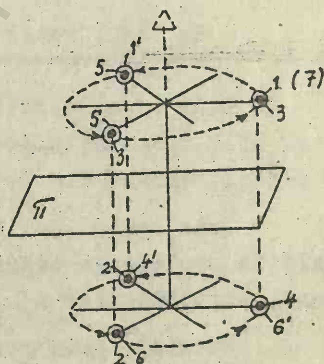


Fig. 53

Din poziția 1, punctul considerat trece prin poziția intermediară 1' la 120° şi se oglindeşte în poziția 2.

Prin rotire, mai departe, punctul trece din poziția 2 în poziția 2' de unde se oglindeşte în 3.

De aici, prin rotire, ajunge din nou în poziția 1, care este însă de data aceasta, o poziție de tranziție 3' şi

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

mai departe, punctul ajunge, prin oglindire în poziţia 4. De aici, prin rotire, trece prin poziţia de tranziţie 4'; care fusese deja poziţia 2 şi ajunge prin oglindire în poziţia 5, care se suprapune cu poziţia de tranziţie 1'. Trecînd, prin rotire în poziţia de tranziţie 5', care se suprapune cu poziţia 3, ajunge prin oglindire în poziţia 6, peste poziţia de tranziţie 2'.

Prin poziţia de tranziţie 6' ce se suprapune cu poziţia 4 şi prin oglindire, punctul ajunge în poziţia iniţială.

S-a terminat a doua rotire, iar cele 6 poziţii sînt dispuse, de-o parte şi de alta a planului, cîte 3, ca şi cînd ar ocupa colţurile unei prisme trigonale, ori aceeaşi repetare, se produce şi în cazul unei axe simple L^3 asociată ca un plan perpendicular π (fig.54).

In cazul rotirii elementare $\alpha' = 180^o$

Luăm o axă verticală L^2 şi un plan perpendicular (fig. 55). Ducem cele două perpendiculare pe capetele axei şi plecăm iarăşi din poziţia (1) a punctului considerat.

Prin rotire de 180^o, punctul trece prin poziţia iniţială în poziţia de tranziţie (1'), iar prin oglindire în planul perpendicular ajunge în poziţia (2).

De aici, prin poziţia de tranziţie (2'), ajunge în poziţia iniţială.

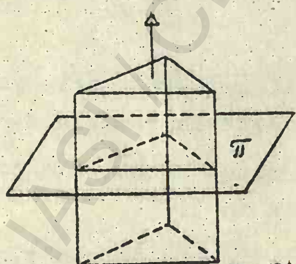


Fig.54.

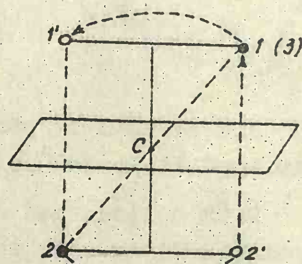


Fig.55.

Exact acelaşi rezultat se obţine şi dacă se repetă punctul din poziţia (1) prin inversiune faţă de un centru de simetrie; nu avem deci un element nou de simetrie, complex.

In cazul rotirii elementare $\alpha' = 360°$

Procedînd în mod asemănător (fig. 56), punctul din poziţia (1), în urma unei rotiri complete,trece din nou prin poziţia iniţială, acum de tranziţie (1'), de unde prin oglindire în plan, ajunge în poziţia (2), ca şi cîng ar fi suferit o operaţie simplă de oglindire.

Axa complexă de rotire-oglindire L_1^1 este echivalentă cu un plan P.

Avem deci numai două axe de rotire-oglindire care dau rezultate caracteristice: axa L_6^3 şi L_4^2 .

Pentru a fi deosebite de axele de inversiune de acelaşi ordin considerăm rezonabil să se indice oglindirea din operaţia complexă,notînd axele cu $L_{6\,m}^3$ şi $L_{4\,m}^2$.

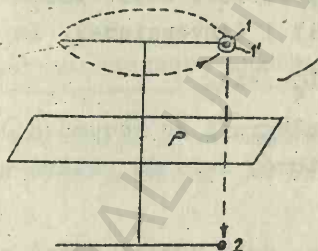


Fig.56.

b. Axele de inversiune

Acestea sînt direcţii în jurul cărora elementele geometrice ale cristalului se repetă pe baza unei operaţiuni de simetrie compusă dintr-o rotire $\alpha' = \frac{\alpha}{2}$, urmată de inversiunea în partea opusă, faţă de un centru de simetrie.

Ca şi în cazul axelor de rotire-oglindire, cele două operaţiuni simple componente se efectuează simultan, constituind o singură operaţie - complexă - de simetrie.

De asemenea, unghiurile elementare de rotire, după

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

care se compun cele două operaţii, nu pot avea decît valori de 60^{o}, 90^{o}, 120^{o} şi 180^{o}. Ele se însemnă tot cu α', avînd jumătate din valoarea unghiurilor care corespund axei de rotire componente, de unde, notarea lor cu Gi_1, Gi_2, Gi_3, Gi_4 şi Gi_6 sau cu J^1, J^2, J^3, J^4, şi J^6.

Punctele situate de-o parte sau de alta a axei se repetă în jurul acesteia după unghiul α de n ori; fiecare punct însă, în raport cu axa complexă, se repetă alternativ, de-o parte şi de cealaltă a axei, după unghiul $\alpha' = \frac{\alpha}{2}$, deci de $n' = 2n$ ori ca şi în cazul axei de rotire-oglindire.

Şi în cazul acesta axele s-ar putea nota cu L_n^n, = $= L_{2n}^n$ de ex. L_6^3 şi L_4^2. Pentru a le deosebi însă de axele de rotire oglindire este necesar să rezulte din notaţie operaţiile componente specifice. Acest lucru se realizează prin introducerea literii i (inversiune). In exemplele de mai sus, L_{6i}^3 şi L_{4i}^2, L_6^i şi L_4^i etc.

Unii cristalografi nu recunosc decît existenţa axelor complexe de inversiune, cele de rotire-oglindire fiind echivalate cu acestea.

De asemenea, unii numesc numai aceste axe ca giroide, pe cînd alţi numesc giroide, toate axele complexe.

Pentru a înţelege mai bine modul cum se repetă elementele geometrice ale unui poliedru cristalin în raport cu axele de inversiune, precum şi unele echivalente ale lor cu alte elemente de simetrie, vom considera şi aici un punct iniţial, pe care îl vom supune operaţiei complexe respective, pentru toate valorile posibile ale unghiului α'.

Axa L_{6i}^3 corespunzătoare unghiului $\alpha' = 60^{o}$

Luăm deci, o axă verticală L^6, pe capetele căreia ducem perpendicular, trei direcţii, la 120^{o} una de alta, iar pe mijlocul dreptei considerăm un centru de simetrie (fig.57).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Efectuînd prima parte a operaţiunii complexe, rotirea de 60° a punctului din poziţia (1), acesta trece la poziţia de tranziţie (1'). Continuînd operaţia complexă cu a doua parte, inversiunea faţă de centrul de simetrie, punctul va ajunge în poziţia (2). In continuare, punctul, trecînd prin poziţia (2') va ajunge în poziţia (3); trecînd apoi prin poziţia (3'), va ajunge în poziţia (4); prin poziţia (4') va ajunge în poziţia (5) şi prin poziţia (5') în poziţia (6).

Dacă se continuă operaţia, prin poziţia (6'), punctul va ajunge în poziţia iniţială. Aşa se întîmplă de ex. cu colţurile prizmei trigonale (fig.58).

După cum vedem, cele trei poziţii din partea superioară (1,3,5) sînt dispuse faţă de celelalte trei (2,4,6) ca şi în cazul axei de rotire-oglindire cu unghiul elementar de rotire de 120°, simetric faţă de axa terenară simplă şi faţă de un plan perpendicular de oglindire ($L^3 \pi$).

Axa L^2_{4i} corespunzătoare unghiului $\alpha' = 90^{\circ}$

Luăm o axă verticală L^4 pe capetele căreia ducem cîte două perpendiculare şi considerăm, în mijlocul axei, un centru de simetrie (fig.59).

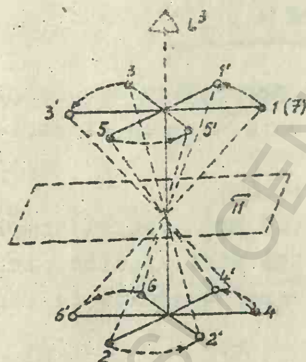


Fig. 57.

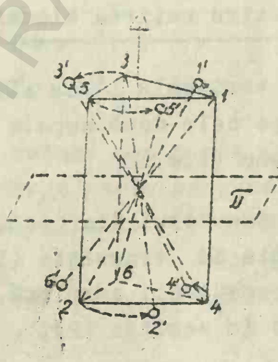


Fig. 58

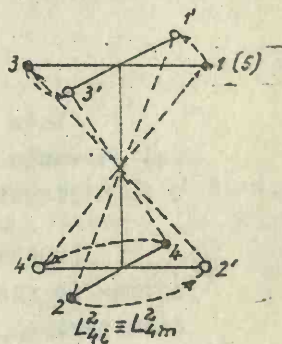


Fig. 59.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Efectînd operaţiile corespunzătoare, punctul, din poziţia (1), trece prin rotire de 90^o în poziţia de tranziţie (1') şi apoi, prin inversiune faţă de centru, în poziţia (2). De aici prin rotire, trece în poziţia (2'), iar apoi, prin inversiune, în poziţia (3). Prin rotirea, mai departe, ajunge în poziţia (3') şi prin inversiune în poziţia (4).

Operaţia de rotire inversiune se încheie trecînd prin rotire punctul în poziţia de tranziţie (4') şi de aici prin inversiune, în poziţia iniţială.

După cum vedem, ca rezultat al operaţiunii complexe de rotire-inversiune, punctul a căpătat două poziţii identice pe o direcţie normală la axă (1,3) de-o parte şi două poziţii identice, pe o direcţie perpendiculară, de cealaltă parte a axei (2,4).

Acelaşi efect s-a produs şi prin operaţia de rotire-oglindire, după acelaşi unghi, $\alpha' = 90^o$. Ca exemplu am dat tetraedul.
Axele de rotire-oglindire L^2_{4m} şi de inversiune, L^2_{4i}, sînt echivalente.

Pentru rotirea elementară $\alpha' = 360^o$

Luăm o verticală L^1 cu cîte o perpendiculară în planul desenului pe cele două capete şi un centru de simetrie C în mijlocul său (fig.60).

Supunînd punctul din poziţia (1) unei rotiri complete, ajumge în poziţia de tranziţie (1') tot aici; făcînd, în a doua parte o operaţiunii complexe, inversiunea faţă de centru va ajunge în poziţia (2).

Vedem că operaţiunea complexă de rotire-inversiune este echivalentă cu o inversiune simplă, axa de inversiune L^1_{1i} este echivalentă cu un centru de simetrie, C.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Pentru rotirea elementară $\alpha' = 180^o$

Plecăm de la acelaşi desen, tot din poziţia 1 şi rotim punctul în jurul axei verticale pînă în poziţia 1' la 180^o. De aici, făcînd inversiunea prin centru, se ajunge în poziţia finală 2.

Repetarea după L_{2i}^1 duce la acelaşi rezultat ca şi repetarea după un simplu plan de simetrie P (fig.60 c).

Si axele de inversiune se limitează aşa dar numai la două = L_{6i}^3 şi L_{4i}^2

c.Echivalări

Intre axele de rotire-oglindire şi cele de inversiune, ca şi între ambele giroide şi elementele de simetrie simple, se pot stabili următoarele echivalenţe:

$\bar{G}_1 = Gi_2 = P$

$\bar{G}_2 = Gi_1 = C$

$\bar{G}_3 = Gi_6 = L^3\pi = L_{6i}^3$

$\bar{G}_4 = Gi_4 = L_{4i}^2 = L_{4m}^2$

$\bar{G}_6 = Gi_3 = L^3C = L_{6m}^3$

Ca formă de notare se poate folosi la fel de bine, pentru uniformizare, ca la notarea gyrelor, litera L în locul literei G şi în cazul giroidelor, deci : L_1, L_2, L_3, L_4, L_6

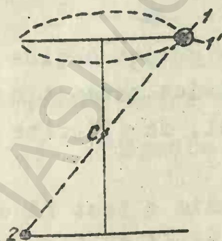


Fig. 60 a

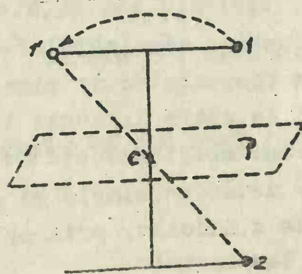


Fig. 60 b.

Dată fiind echivalenţa axelor L^2_{4m}, de rotire-oglindire şi L^2_{4i}, de inversiune, în cazul poliedrelor cristaline şi pentru simplificare, se obişnueşte să se noteze ambele axe simplu L^2_4, ca şi axele L^3_6 de rotire-oglindire, notîndu-se numai axele de inversiune L^3_6 cu L^3_{6i} .

3. ASOCIEREA ELEMENTELOR DE SIMETRIE

C L A S E   D E   S I M E T R I E

Mai rar, se întîlnesc poliedre cristaline fără nici un element de simetrie.
Se întîlnesc însă, mai frecvent, cristale cu un singur element de simetrie.

In cristalele cu mai multe elemente de simetrie se constată că acestea sînt asociate după anumite reguli.

Ţinînd seama de legile cristalografice şi prin aplicarea acestor reguli, numărul combinărilor posibile ale elementelor de simetrie este foarte limitat. De multe ori se ajunge la aceeaşi grupare de elemente de simetrie prin combinări diferite, aşa cum am văzut că se întîmplă şi la obţinerea elementelor complexe de simetrie.

Totalitatea elementelor de simetrie constituie "simetria cristalului" şi poate fi exprimată printr-o formulă de simetrie. Există 32 de clase de simetrie, în care se încadrează toate cristalele naturale şi artificiale şi tot atîtea formule de simetrie. Fiecare clasă are formula sa de simetrie.

Numărul combinărilor posibile, care se pot obţine din asocierea elementelor de simetrie, a fost dedus matematic, mai întîi de către I.Kessel în 1830 şi apoi, în diferite moduri, de mai mulţi cercetători.

O deducere simplă şi acceptată unanim a fost făcută în 1867 de A.Gadolin, prin aplicarea unei serii de teoreme relative la simetrie.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

3.1. DEDUCEREA CELOR 32 CLASE DE SIMETRIE

Teoreme de asociere a elementelor de simetrie

Pentru a stabili simetria celor 32 de clase, vom pleca şi noi de la axele cunoscute, incluzînd în rîndul axelor de rotire şi axa L^1, iar dintre giroide, luînd în consideraţie numai axele de inversiune.

Clasele care au în formula de simetrie numai aceste axe (cu excepţia axei L^2), vor fi numite clase primitive. De asemenea, vom pleca şi de la o grupă de axe, $3L^2 4L^3$, care constituie tot formula unei clase primitive.

Vom avea prin urmare 5 clase primitive cu axele de rotire L^1, L^3, L^4, L^6 şi grupa $3L^2 4L^3$ şi două clase primitive de simetrie cu axele de inversiune, giroidele L_4^2 şi L_6^3. Acestea se vor numi clase giroido-primitive (7).

După aceea, vom asocia acestor axe primitive, alte elemente de simetrie şi vom deduce celelalte clase de simetrie, pe baza teoremelor ce vor fi enunţate la locul respectiv.

La axele primitive, în rîndul cărora intră şi axa L^2, se vor adăuga pe rînd:

- centru de simetrie;
- un plan de simetrie care să conţină axa primitivă;
- o axă L^2 perpendiculară pe axa primitivă;
- şi simultan, planul P^2 şi axa L^2, care sînt perpendiculare între ele.

Clasele astfel rezultate, se vor numi, respectiv:

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

clase centrice, clase planale, clase axiale, clase planaxiale şi clase giroide-planale.

Sînt numite teoreme privitoare la simetrie; noi nu vom enunţa însă, decît pe acelea ce ne vor fi necesare în deducerea fiecărei categorii de clase de simetrie şi-pentru claritate-vom începe cu axa L^{o}.

a. <u>Deducerea claselor care au ca axă primitivă, axa L^6.</u>

<u>Teorema 1.</u> Cînd există o axă de simetrie de ordin pereche, L^{2n} şi centru de simetrie, trebuie să existe şi un plan de simetrie, perpendicular pe această axă.

In cazul considerat, adăugînd C la axa primitivă L^6, rezultă şi un plan de simetrie perpendicular pe L^6 adică un plan π :

$L^6 + C \rightarrow L^6_{\pi}C$, clasă centrică.(8).

<u>Teorema 2.</u> Cînd o axă L^n se găseşte într-un plan de simetrie, trebuie să existe n plane de simetrie, care se intersectează după această axă.

Adăugînd la axa primitivă L^6 un plan care s-o cuprindă, trebuie să apară 6 plane care se intersectează după axa primitivă:

$L^6 + P \rightarrow L^6 6P$, clasă planală (9).

<u>Teorema 3.</u> Cînd o axă de ordinul 2 este perpendiculară pe o axă de ordinul n, trebuie să existe n axe L^2 perpendiculare pe aceasta.

Adăugînd o axă L^2 perpendicular pe axa L^6, vor fi 6 axe L^2 în această situaţie: $L^6 + L^2 \rightarrow L^6 6L^2$, clasă axală (10)

-<u>Teorema 4 (reciproca teoremei 1).</u> Cînd există o axă de ordin pereche şi un plan perpendicular pe aceasta, trebuie să existe şi centru de simetrie.

Adăugînd axei primitive L^6 un plan care s-o conţină şi o axă L^2 perpendiculară, planul se va repeta de 6 ori conform teoremei 2, iar axa L^2 se va repeta de asemenea, de 6 ori conform teoremei 3.

Axa L^2 este perpendiculară pe planul adăugat, aşa că va trebui să existe, conform teoremei 4 şi centru de simetrie.

Apărînd însă centru de simetrie, iar axa primitivă fiind de ordin par, trebuie să apară şi un plan perpendicular pe ea, conform teoremei 1, aşa că vom avea: $L^6 + [P^2 + L^2] \rightarrow L^6 \begin{matrix} 6L^2 \\ 6P^2 \end{matrix} C \rightarrow$

$\rightarrow \frac{L^6}{\pi} \begin{matrix} 6L^2 \\ 6P^2 \end{matrix} C$, care este o clasă plan axială. (11).

b. <u>Plecînd acum de la axa primitivă L^4</u>

Vom obţine clase cu formule de simetrie complet analoge, deoarece axa primitivă este tot de ordin par, iar elementele de simetrie adăugate, aceleaşi şi deci asocierea lor se bazează pe aceleaşi teoreme.

Vom avea astfel:

$L^4 + C \rightarrow \frac{L^4}{\pi} C$, clasă centrică (12) ;

$L^4 + P \rightarrow L^4 4P$, clasă planală (13) ;

$L^4 + L^2 \rightarrow L^4 4L^2$, clasă axială (14);

$L^4 + [P^2 + L^2] \rightarrow \frac{L^4}{\pi} \begin{matrix} 4L^2 \\ 4P^2 \end{matrix} C$, clasă planaxială (15).

c. <u>Pe baza axei primitive L^3</u>

Pentru deducerea claselor cu centru de simetrie trebuie să aplicăm o teoremă nouă:

<u>Teorema 5</u>. Cînd există o axă de simetrie de ordin impar şi centru de simetrie, această axă este o axă de rotire oglindire.

Adăugînd la axa primitivă L^3 un centru de simetrie, axa va deveni axă de rotire-oglindire L^3_{6m}, deci:

$L^3 + C \rightarrow L^3_{6m} C$, clasă centrică (16);

Adăugăm axei primitive L^3 un plan care s-o cuprindă, planul se va repeta de 3 ori conform teoremei 2 şi deci:

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

$L^3 + P \to L^3\,3P$, clasă planală (17).

Adăugînd la axa L^3 o axă L^2 perpendiculară, aceasta se va repeta conform toremei 3 de trei ori şi vom avea:

$L^3 + L^2 \to L^3\,3L^2$, clasă axială (18).

In fine, adăugînd axei L^3 un plan P^2 şi o axă L^2, planul se va repeta conform toremei aplicate la clasa planală, de 3 ori, axa L^2 se va repeta conform teoremei aplicate la clasa axială de 3 ori.

Din cauză că s-a adăugat axa de ordin pereche (L^2) şi plan perpendicular (P^2), rezultă, implicit, conform teoremei 4 că a apărut şi centru de simetrie. Dar în prezenţa centrului de simetrie, axa primitivă fiind de ordin impar, devine axa de rotire oglindire (L^3_{6m}):

$$L^3 + \left[P^2 + L^2\right] \to L^3\,\underset{3P^2}{3L^2} \to L^3\,\underset{3P^2}{3L^2}\,C \to L^3_{6m}\,\underset{3P^2}{3L^2}\,C$$

care este o clasă planaxială (19).

d. <u>Plecînd acum de la axa primitivă L^1</u>
(tot de ordin impar)

Vom aplica aceleaşi teoreme şi vor rezulta :

$L^1 + C \to L^1_{2m}C = C$, deoarece $L^1_{2m} = C$, deci clasă centrică (20) ;

$L^1 + P \to L^1P = P$, axa L^1 nefiind axă de simetrie, nu intră înformula de simetrie; clasă planală (21)

$L^1 + L^2 \to L^1L^2 = L^2$, cu aceeaşi observaţie, deci clasa axială (22) care este identi.ă cu o clasă primitivă, cînd s-ar pleca în deducere de la axa primitivă L^2;

Dacă: $L^1 + \left[P^2 + L^2\right] \to L^1\underset{P^2}{L^2} \to L^1_{2m}\,\underset{P^2}{L^2}\,C \to \underset{P^2}{L^2}\,C$, rezultă o

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

clasă planaxială (23)cu explicațiile de la clasa centrică și de la clasa planală.

e. Cu axa primitivă L^2

Rezultă numai trei clase noi de simetrie, pe baza teoremelor aplicate la axele de ordin par (L^4, L^6):

$L^2 + P \rightarrow L^2\ 2P$, clasă planală (24);

$L^2 + L^2 \rightarrow L^2\ 2\ L^2$, clasă axială (25) și

$L^2 + \left[P^2 + L^2\right] \rightarrow L^2\ \underset{2P^2}{2L^2} \rightarrow L^2\ \underset{2P^2}{2L^2}\ C \rightarrow \underset{\pi}{L^2}\ 2\ \underset{2P^2}{L^2_2}\ C$, clasă planaxială (26).

Dacă am adăuga la axa primitivă L^2 un centru de simetrie am obține o clasă centrică, identică cu clasa planaxială obținută mai sus pe baza axei L^1 deci $L^2 + C \rightarrow \underset{P^2}{L^2}\ C$.

f. Pentru complexul primitiv de axe $3L^2\ \ 4\ L^3$

Rezultă toate cele 4 clase deduse prin adăugarea elementelor de simetrie independente, cu aplicarea, atît a teoremelor pentru axe de ordin par cît și de ordin impar, după cum urmează:

- <u>In cazul clasei centrice</u>, adăugînd axelor primitive centru de simetrie, conform teoremei 1, apar 3 plane perpendiculare pe axele de ordin par (L^2), iar conform teoremei 5, axele de ordin impar (L^3) devine axe de rotire oglindire (L^3_{6m}):

$$3L^2\ 4L^3 + C \rightarrow \underset{3\pi}{3L^2}\ 4L^3_{6m}\ C \qquad (27)$$

- <u>Pentru clasa planală</u>, se adaugă planul P care să conțină axa principală L^2 și aceasta se repetă, conform teoremei 2, de 2 ori.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Fiind 3 axe L^2 identice, se întîmplă acelaşi lucru cu fiecare, aşa încît apar 6 plane.

Cele 2 plane care conţin fiecare axă L^2 sînt perpendiculare între ele, iar altă axă L^2 primitivă este bisectoarea unghiului lor diedru. Axa după care se intersectează cele 2 plane, devine axă de rotire inversiune- (L^2_{4i}), conform teoremei următoare:

<u>Teorema 6.</u> Dacă la o axă L^n, care are n axe L^2 perpendiculare, se adaugă un plan P, bisector al unghiului diedru făcut de axele L^2, planul se va repeta de n ori conform teoremei 2, iar axa L^n va deveni axă de inversiune L^n_{2ni} (fig.61).

Axele primitive L^2 fiind identice, toate trei se transforma în axe L^2_{4i} :

$$3L^2\ 4\ L^3 + P \rightarrow 3L^2_{4i}\ 4\ L^3\ \ \underset{-\ \ \ -\ \ \ 6P^-}{-} \qquad (28)$$

\- <u>Clasa axială.</u> Cele 3 axe primitive L^2 sînt perpendiculare între ele, satisfăcînd teorema 3 (fig.62). Dacă pe una din ele, în cazul figurii, pe cea perpendiculară pe planul desenului, din mijloc, se mai adaugă o axă L^2 perpendiculară, L'^2, la 45° între celelalte 2, şi aceasta se va repeta conform teoremei 3, de două ori. In jurul axei centrale vor fi 4 axe L^2, în planul desenului.

<u>Teorema 7.</u> Cînd n axe L^2 se găsesc în acelaş plan, direcţia perpendiculară pe intersecţia lor este o axă de ordinul n.

In felul acesta, toate axele L^2 primitive devin axe L^4 iar, conform teoremei 3, axele L^2 adăugate se repetă de cîte 2 ori pentru fiecare axă primitivă.

$$3L^2\ 4L^3 + L^2 \rightarrow 3L^2\ 4L^3\ \ 6L^2 \rightarrow 3L^4\ \ 4L^3\ 6L^2 \quad (29).$$

- Clasa planaxială. Adăugînd complexului primitiv şi plan şi axă, vor rezulta, ca la clasa axială, 6 axe L^2, iar ca la clasa planală, 6 plane P^2; axele primitive L^2 vor deveni axe L^4; conform teoremei 4, va rezulta un centru de simetrie; conform teoremei 1, vor rezulta 3 plane π şi conform teoremei 5, axele L^3 vor deveni axe de rotire-oglindire : L^3_{6m}:

$$3L^2\ 4L^3 + \left[P^2 + L^2\right] \rightarrow 3L^2\, 6L^2_2\, 6P^2 \rightarrow 3L^4\ 4L^3\ \ 6L^2_2\, 6P^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow 3L^4\ 4L^3\ \ \begin{matrix}6L^2\\6P^2\end{matrix}\ C \rightarrow \begin{matrix}3L^4\\3\pi\end{matrix}\ \ 4L^3_{6m}\ \ \begin{matrix}6L^2\\6P^2\end{matrix}\ C. \quad (30).$$

h.i. - Pentru giroidele primitive L^2_{4i} şi L^3_{6i}.

Nu vor rezulta clase noi decît în urma adăugirii planului care să le conţină.

La aceste combinări se aplică însă şi o teorema nouă.

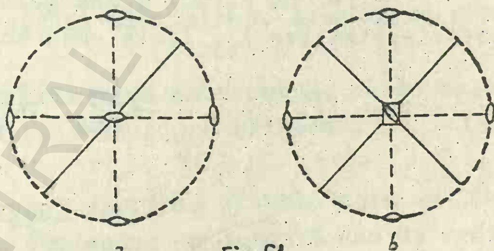


Fig.61

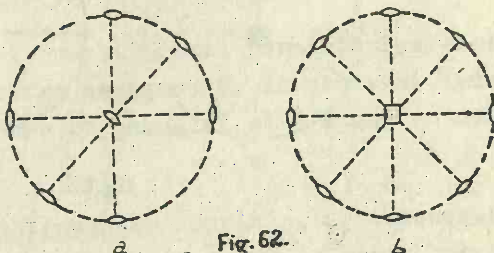


Fig.62

Teorema 8 (reciproca teoremei 6). Dacă la o axă de inversiune, L^{n}_{2ni} se adaugă un plan P, care s-o conţină, planul se va repeta de n ori, conform teoremei 2, iar perpendicular pe axa L^{n}_{2ni} vor apare n axe L^2, bisectoare ale unghiurilor diedre făcute de planele P (fig. 63).

h. In cazul axei giroido-primitive L^2_{4i}

Adăugînd un plan care să conţină axa de ordinul 2, acesta se va repeta conform teoremei 2 , iar conform teoremei 8, vor apare şi 2 axe L^2, perpendiculare pe giroidă:

$$L^2_{4i} + P \rightarrow L^2_{4i}\,2P \rightarrow L^2_{4i}\,2L^2\,2P \quad \text{- clasă giroido-planală}$$
(31).

i. Cu axa giroido-primitivă L^3_{6i}

La fel se deduce clasa giroido-planală pe baza giroidei-primitive L^3_{6i} (care este echivalentă cu $\frac{L^3}{\pi}$) :

$$L^3_{6i} + P \rightarrow L^3_{6i}\,3P \rightarrow L^3_{6i}\,3L^2\,3P = \frac{L^3}{\pi}\,3L^2\,3P \qquad (32)$$

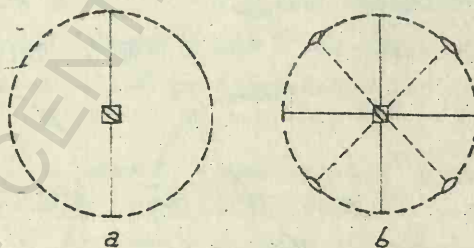


Fig. 63.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 2. SISTEME CRISTALINE SAU SINGONII

După cum s-a putut observa chiar cu ocazia deducerii claselor de simetrie, sînt grupe de clase care au caractere comune de simetrie, specifice pentru fiecare grupă. Acestea constituie s i s t e m e   c r i s t a l i n e sau singonii şi sînt în număr de şapte:
Sistemul cubic, sistemul hexagonal, sistemul tetragonal, sistemul trigonal, sistemul rombic, sistemul monoclinic şi sistemul triclinic.

a. Sistemul cubic se caracterizează prin aceea că toate clasele pe care le cuprinde au mai multe axe de simetrie de ordin superior.

Cele cinci clase de simetrie care au fost deduse din complexul primitiv $3L^2\ 4L^3$ au toate în formula lor, cel puţin 4 axe de ordin superior, axele L^3.

Există în fiecare sistem cîte o formă geometrică din care se pot desvolta toate celelalte forme şi care aici, ca şi în majoritatea cazurilor, este şi forma paralelepipedului elementar al reţelei cristaline. Aceasta se numeşte formă primitivă.
In acest sistem, forma primitivă este cubul, de la care i s-a dat şi denumirea de sistem cubic (fig.64).

b. Sistemul hexagonal cuprinde clasele care au în formula lor de simetrie, totdeauna, o singură axă de ordin superior şi anume hexagira (L^6) sau hexagiroida (L^3_{6i}).

Forma primitivă, ca şi forma paralelepipedului elementar, este aici prisma hexagonală. In sistemul hexagonal sînt prin urmare, 5 clase cu hexagiră şi 2 clase cu hexagiroidă (fig.65).

c. Sistemul tetragonal cuprinde, deasemenea, clase care au în formula lor de simetrie o axă de ordin superior,

dar aceasta este tetragira (L^4) sau tetragiroida (L^2_{4i}).

Forma primitivă este o prismă tetragonală, care este şi forma paralalepipedului elementar al reţelei (fig.66).

Şi în sistemul tetragonal sînt tot 5 clase cu gyră (tetragira) şi 2 clase cu giroidă (tetragiroida).

d. Sistemul trigonal, cuprinde cele 5 clase care au în formula lor de simetrie, ca singura axă de ordin superior, trigira L^3.

Aici însă forma primitivă, ca şi forma paralelepipedului elementar al reţelei, este un romboedru (fig.67), de unde şi denumirea de sistem romboedric care i se mai dă sistemului trigonal.

e. Sistemul rombic nu are decît cele 3 clase de simetrie deduse pe baza axei primitive L^2, care nu rezultă şi din axa primitivă L^1: clasa planală, clasa axială şi clasa planaxială.

Aici, forma primitivă , care dă şi denumirea sistemului, este o prismă cu secţiunea rombică. Muchile ei laterale sînt perpendiculare pe bază, fac un unghi drept cu aceasta, de unde se mai numeşte şi prismă ortogonală, iar sistemul se mai numeşte şi sistem ortorombic (fig.68). Paralelepipedul elementar este însă o prismă cu secţiunea dreptunghiulară (fig. 69).

Unii cristalografi consideră aceasta şi ca formă primitivă.

In sistemul rombic nu sînt axe de ordin superior, dar fiecare clasă are cel puţin două axe L^2 sau două plane P.

f. Sistemul monoclinic cuprinde de asemenea numai trei clase de simetrie, tot clasa planală, clasa axială şi clasa planaxială, dar acestea sînt clase deduse pe baza axei primitive L^1.

Forma primitivă este o prismă cu secţiunea rombică, dar aceasta este înclinată într-o direcţie paralelă cu planul de simetrie sau perpendiculară pe axa de simetrie, deci într-o singură direcţie (fig. 70).

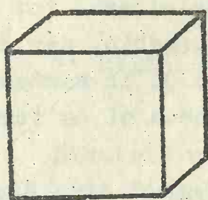
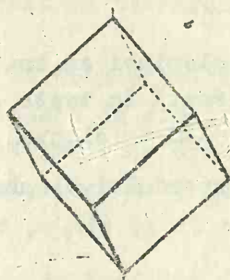
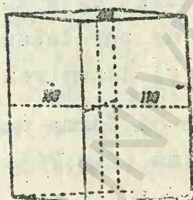
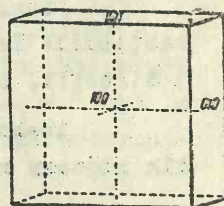

Fig. 64.


Fig. 65.


Fig. 66.


Fig. 67.


Fig. 68.


Fig. 69

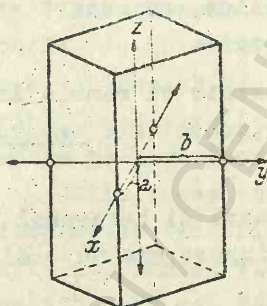


Fig. 70.

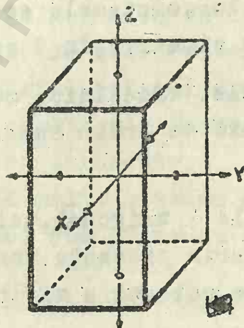
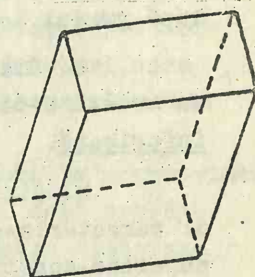


Fig. 71.


Fig. 72.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

De aici şi denumirea de sistem monoclinic sau clinorombic.

Paralelepipedul elementar al reţelei are tot secţiunea dreptunghiulară ca şi la sistemul rombic, dar este înclinat în direcţia arătată (fig.71). Ca şi în sistemul rombic, unii cristalografi consideră aceasta şi ca formă primitivă.

Nici o clasă din sistemul monoclinic nu are mai mult de o axă L^2 sau un plan P.

g. Sistemul triclinic are numai cele două clase deduse pe baza axei primitive L^1, care lipsesc din sistemul monoclinic: clasa primitivă (aici, asimetrică) şi clasa centrică..

Forma primitivă este un paralelepiped cu toate secţiunile în formă de paralelogram,plecată în toate cele 3 direcţii, de unde şi denumirea de sistem triclinic.

Aceasta este şi forma paralelepipedului elementar din reţeaua cristalină (fig.72).

3. 3. CATEGORII DE SINGONII SAU SISTEME CRISTALINE

La rîndul lor,sistemele cristaline, se repartizează după gradul lor de simetrie,în 3 categorii.

a. Sistemele: triclinic, monoclinic şi rombic în care nu există nici o axă de ordin superior,constituie categoria inferioară.

b. Sistemele : trigonal,tetragonal şi hexagonal, care se caracterizează prin prezenţa unei singure axe de ordin superior,constituie categoria mijlocie.

c. Sistemul cubic, caracterizat prin prezenţa mai multor axe de ordin superior în toate clasele. constituie categoria superioară

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4. NOTATII PRESCURTATE ALE CLASELOR DE SIMETRIE

Simetria unei clase cristalografice este clar exprimată prin formula sa desfăşurată de simetrie care, pe lîngă că arată toate elementele de simetrie, mai arată şi raportul dintre axele şi planele de simetrie, precum şi poziţia acestora pe cristale.

Astfel, de ex., după cum am văzut la clasa planaxială a sistemului tetragonal, formula desfăşurată $\frac{L^4}{\Pi}\frac{2L^2}{2P^2}\frac{2L'^2}{2P'^2}C$, ne arată că avem o axă de ordinul 4, patru axe de ordinul 2, cinci plane de simetrie şi un centru de simetrie. Mai arată însă că axele de ordinul 2, după poziţia pe care o ocupă în cristal, sînt de 2 feluri ca şi planele care sînt perpendiculare pe ele şi că există un plan principal.

De cele mai multe ori însă, simetria unei clase se exprimă prin formula globală de simetrie, cu însumarea tuturor planelor şi a tuturor axelor de acelaşi ordin. In exemplul considerat: $L^4 4L^2 5PC$.

In multe tratate şi mai ales în lucrările de cristalografie, se întrebuinţează în mod frecvent notaţii prescurtate ale claselor de simetrie, notaţii prin simboluri, care exprimă în mod implicit, combinaţia tuturor elementelor de simetrie pe baza teoremelor cunoscute.

Sînt cunoscute mai multe sisteme de notaţie prescurtată a claselor de simetrie. Noi vom prezenta numai două sisteme: notaţia lui Schoenflies, cea mai veche şi notaţia "internaţională" , cea mai nouă.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4.1. NOTAŢIA SCHOENFLIES

In această metodă, axele de simetrie se notează prin cifre care indică ordinul lor, planele de simetrie, prin litere care indică poziţia lor faţă de axa primitivă, iar centrul de inversiune prin litera i. Se foloseşte numai giroida de rotire-oglindire.

Clasele care nu au în simetria lor decît o axă sînt numite clase ciclice şi simbolul lor începe cu litera C.

Clasele care au digiră perpendiculară pe axa primitivă sînt numite clase diedrice, iar simbolul lor începe cu D.

Clasa care are numai axa de rotire-oglindire L^2_{4m} (spiegelaxe), se notează cu litera S.

Clasele sistemului cubic se împart în două categorii:
- clase care au axele de simetrie ale tetraedrului, a căror notaţie se începe cu litera T şi
- clase care au axele de simetrie ale octaedrului, a căror notaţie începe cu litera O.

1) Clasele care au în simetria lor numai una din axele de rotire, se notează cu C şi cu ordinul axei:

(1) $L^1 = C_1$; (2) $L^2 = C_2$; (3) $L^3 = C_3$; (4) $L^4 = C_4$; (5) $L^6 = C_6$.

2) Clasele care au pe lîngă o axă de simetrie gyră şi plane care o conţin, plane verticale, se notează cu litera C, lîngă care se scrie ordinul axei şi litera v:

(6) $L^2\,2P = C_{2v}$; (7) $L^3\,3P = C_{3v}$; (8) $L^4\,4P = C_{4v}$;

(9) $L^6 6P = C_{6v}$.

3) Clasele care pe lîngă gyră mai au şi un plan perpendicular pe aceasta (horizontal), se notează de asemenea

litera C, alături de care se scrie ordinul axei şi litera h:

(10) $L^2\pi\ C = C_{2h}$. (11) $L^3\pi = (L^3_{6i}) = C_{3h}$; (12) $L^4\pi\ C = C_{4h}$
(13) $L^6\pi\ C = C_{6h}$.

4). Clasa care nu are decît un plan de oglindire (Spiegeleben) se notează cu litera C lîngă care se scrie litera s:

(14) P = Cs.

(5). Clasa care nu are decît centrul de inversiune se notează cu litera C, lîngă care se scrie litera i:

(15) $C = C_i$.

(6) Clasa care are şi o axă de ordinul 3 şi centru de simetrie se notează cu litera C, lîngă care se scrie ordinul axei şi litera i:

(16) $L^3_{6m}\ C = C_{3i}$.

Această clasă, avînd o axă de rotire oglindire L^3_{6m} (Spiegelaxe), se mai notează şi cu S_6.

7) Clasa care are numai axa de rotire-oglindire L^2_4, se notează tot cu litera S:

(17) $L^2_{4m} = S_4$.

8) Clasele (axale) care au axe de ordinul 2 (digire), perpendiculare pe axa de rotire primitivă, formînd o grupă diedrică, se notează cu litera D, lîngă care se scrie ordinul axei:

(18) $L^2\ 2L^2 = D_2$; (19) $L^3\ 3L^2 = D_3$; (20) $L^4\ 4L^2 = D_4$;
(21) $L^6\ 6L^2 = D_6$.

9). Clasele diedre care au în formula lor şi plane π (horizontale) se notează cu litera D, lîngă care se scriu ordinul axei primitive şi litera h:

BCU IAŞI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

$$\text{(22)}\ \begin{matrix} L^2 & 2L^2 & C \\ \pi & 2P^2 & \end{matrix} = D_{2h}; \qquad \text{(23)}\ \begin{matrix} L^3 & 3L^2 & \\ \pi & - & 3P \end{matrix} = D_{3h}$$

$$\text{(24)}\ \begin{matrix} L^4 & 4L^2 & C \\ \pi & 4P^2 & \end{matrix} = D_{4h}; \qquad \text{(25)}\ \begin{matrix} L^6 & 6L^2 & C \\ \pi & 6P^2 & \end{matrix} = D_{6h}.$$

10) Clasele diedre care au plane ce fac unghiuri diedre cu digirele (nu le conțin), se notează cu litera D, lîngă care se scrie ordinul axei primitive și litera d:

$$\text{(26)}\ \begin{matrix} L^2_{4m} & 2L^2 & - & \\ - & - & 2P & - \end{matrix} = D_{2d}; \qquad \text{(27)}\ \begin{matrix} L^3_{6m} & 3L^2 & C \\ - & 3P^2 & \end{matrix} = D_{3d}.$$

11) Clasele din sistemul cubic care au axele de simetrie ale tetraedrului ($3L^2\ 4L^3$) se notează:

(28) clasa primitivă : $3L^2\ 4L^3 = T$

- Clasa centrică, în formula căreia sînt plane π , se notează cu T pentru axe și cu h pentru planele (horizontale) π, perpendiculare pe axa primitivă L^2.

$$\text{(29)}\ \begin{matrix} 3L^2 & 4L^3_{6m} & C \\ 3\pi & - & \end{matrix} = Th$$

- In clasa planală sînt plane care fac unghiuri diedre cu axele primitive de simetrie, plane d. Se notează cu această literă lîngă litera T:

$$\text{(30)}\ \begin{matrix} 3L^2_{4m} & 4L^3 & - & - \\ - & - & 6P & \end{matrix} = T_d.$$

11) Clasele de simetrie care au axele octaedrului, $3L^4\ 4L^3\ 6L^2$, se notează cu litera O.

- Clasa axială care are numai aceste elemente:

(31) $3L^4\ 4L^3 6L^2 = O$;

- Clasa planaxială, care are plane π, se notează cu litera O, lîngă care se scrie litera h;

$$\text{(32)}\ \begin{matrix} 3L^4 & 4L^3_{6m} & 6L^2 & C \\ 3\pi & & 6P^2 & \end{matrix} = Oh.$$

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Notaţiile Schoenflies sînt întocmite pe bază teoremelor de asociere a elementelor de simetrie. Astfel, în clasa Oh, plecînd de la axele de simetrie ale octaedrului şi de la un plan π , cum indică simbolul, $3L^4\ 4L^3\ 6L^2$, se înţelege că trebuie să existe 3 asemenea plane, corespunzător celor 3 axe principale şi formula devine $\begin{matrix}3L^4\ 4L^3\ 6L^2. \\ 3\pi\end{matrix}$

Avînd plane perpendiculare pe axa de ordin par, trebuie să existe şi centru de simetrie. Formula devine ;

$$\begin{matrix}3L^4 & 4L^3 & 6L^2 & C \\ 3\pi & & & \end{matrix}$$

Avînd centru de simetrie, trebuie să avem şi plane perpendiculare pe axele L^2, care-s tot de ordin par, iar axele de ordin impar L^3, devin axe de rotire-oglindire. Formula se completează :

$$\begin{matrix}3L^4 & 4L^3 & 6L^2 & C. \\ 3\pi & 6m & 6P^2 & \end{matrix}$$

Aşa se pot deduce formulele de simetrie ale tuturor claselor, din simbolurile lui Schoenflies, aplicînd teoremele cunoscute.

4.2. NOTAŢIA INTERNAŢIONALA

De la notaţia Schoenflies, mai întîi Herman Maugain, apoi Şubnikov, au ajuns la sisteme şi mai simple.

In ambele aceste sisteme nu se mai folosesc literele iniţiale ale simbolurilor, se folosesc cifre pentru a arăta ordinul axelor şi numai litera m pentru orice fel de plan.

Aranjarea lor în simbolul clasei, arată modul de asociere. Astfel de ex. pentru a arăta că în clasa centrică a sistemului tetragonal, există o axă de ordinul 4 şi un plan perpendicular (formula $\frac{L^4}{\pi}C$), în sistemul Şubnikov, 4: m.

Planele paralele, respectiv planele verticale, V, se

scriu în notaţia Maugain lîngă axe, fără nici un semn, de ex. L^3 3P = 3m, iar în notaţia Subnikov, după un punct = 3. m.

In notaţia Şubnikov se iau în consideraţie ca giroide numai axele de rotire-oglindire, ca la Schoenflies, pe cînd în notaţia Maugain, numai axele de inversiune.

Notaţia internaţională, concepută după aceleaşi principii, constă de asemenea din aranjarea elementelor de simetrie astfel notate, într-o ordine care să sugereze teoremele aplicate. Se folosesc ca la sistemul Maugain, numai giroidele de inversiune.

Iată cum se face notaţia internaţională pentru diferitele categorii de clase şi cum se echivalează aceasta cu notaţia Schoenflis:

1) Clasele care au numai o axă de rotire se notează cu cifra corespunzătoare ordinului axei:

$$(1)\ L^1 = C_1 = 1;\ (2)\ L^2 = C_2 = 2\ ;\ (3)\ L^3 = C_3 = 3\ ;$$

$$(4)\ L^4 = C_4 = 4\ ;\ (5)\ L^6 = C_6 = 6.$$

Aici sînt date în ordine, formulele de simetrie, notaţiile Schoenflies şi notaţiile internaţionale.

2) Axele de inversiune, între care se socoteşte şi cea corespunzătoare centrului de simetrie se notează cu cifra corespunzătoare, avînd deasupra semnul minus:

$$(6)\ C = C_i = \bar{1}\ ;\ (7)\ L^3_6\ C = C_{3i} = \bar{3};\ (8)\ L^2_{4i} = S_4 = \bar{4};$$

$$(9)\ L^3_{6i} = \frac{L^3}{\Pi} = C_{3h} = \bar{6}$$

3) Clasele axiale se notează cu axa primitivă, lîngă care se scriu digirele perpendiculare; în cazul sistemului rombic, unde axa primitivă este tot o digiră, se scriu ambele axe perpendiculare care rezultă:

(10) $L^2\ 2L^2 = D_2 = 222$; (11) $L^3\ 3L^2 = D_3 = 32$; (12) $L^4\ 4L^2 = D_4 = 42$; (13) $L^6\ 6L^2 = D_6 = 62$.

4) Clasele planale se notează cu litera m, scrisă pentru fiecare categorie de plane, în cazul claselor cu axe primitive de ordin superior, după axele respective. Axa de ordinul 2 nu se mai scrie:

(14) $P = Cs = m$; (15) $L^2\ 2P = C_{2v} = mm$; (16) $L^3\ 3P = C_{3v} = 3\ m$; (17) $L^4\ 4P = C_{4v} = 4\ mm$; (18) $L^6\ 6P = C_{6v} = 6\ mm$.

5) Clasele care au numai axele primitive şi plane perpendiculare, π , se notează cu ordinul axei de rotire supra m, ceea ce arată că planul este perpendicular pe axă:

(19) $\frac{L^2}{\pi} C = C_{2h} = 2/m$; (20) $\frac{L^4}{\pi} C = C_{4h} = 4/m$;

(21) $\frac{L^6}{\pi} C = C_{6h} = 6/m$.

6) In clasele planaxiale cu axe primitive de rotire, se face aceeaşi notare ca la punctele 4) şi 5), adăugîndu-se şi celelalte două feluri de plane verticale.

La sistemul rombic, unde axa principală este de ordinul 2, aceasta nu se mai scrie. (22) $\frac{L^2}{\pi} \frac{L'^2}{P'^2} \frac{L''^2}{P''^2} C = D_2h = mmm$

(23) $\frac{L^4}{\pi} \frac{2L^2}{2P^2} \frac{2L'^2}{2P'^2} C = D_{4h} = 4/_m m\ m$.

(24) $\frac{L^6}{\pi} \frac{3L^2}{3P^2} \frac{3L'^2}{3L'^2} C = D_{6h} = 6/_m\ m\ m$.

7) Clasa planaxială din sistemul trigonal unde există giroida L^3_{3i} şi plane diedre, nu se menţionează decît acestea:

$$(25)\ L^3_{6m}\ \begin{matrix}3L^2\\3P^2\end{matrix}\ C = D_3 d = \bar{3}\ m. \quad \text{Amintim} \quad L^3_{3i} = L^3_{6m}.$$

8) Clasele giroido-planale din sistemele tetragonal şi exagonal , se notează cu ordinul giroidei,digira perpendiculară şi planele diedre. Dar, pe cînd la clasa D_{2d} digira se scrie după giroidă, ca nefiind conţinută în planele P, la clasa D_{3h} se scrie planul diedru, după giroidă şi apoi axa L^2:

$$(26)\ \begin{matrix}L^2_{4i}\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}2L^2\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}-\\2P\end{matrix}\ - = D_{2d} = \bar{4}2\ m;$$

$$(27)\ \begin{matrix}L^3_{6i}\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}3L^2\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}-\\3P\end{matrix}\ - = D_{3h} = \bar{6}\ m\ 2.$$

9) In sistemul cubic, clasele care nu au decît axe de simetrie, se notează cu axele principale:

$$(28)\ \begin{matrix}3L^2\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}4L^3\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}-\\-\end{matrix}\ - = T = 23;$$

$$(29)\ \begin{matrix}3L^4\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}4L^3\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}6L^2\\-\end{matrix}\ - = O = 43.$$

Asemenea axe principale de rotire, însoţite de axe L^3, nu mai există în nici un alt sistem.

10) Clasele care au plane principale (π), îşi încep notaţia cu litera m, deci fără a se mai nota axele principale,după aceea se scriu axele L^3 şi în cazul clasei planaxiale, după acestea se scriu şi planele P:

$$(30)\ \begin{matrix}3L^2\\3\pi\end{matrix}\ 4L^3_{6m}\ C = T_h = m\ 3;$$

$$(31)\ \begin{matrix}3L^4\\3\pi\end{matrix}\ 4L^3_{6m}\begin{matrix}6L^2\\6P^2\end{matrix}\ C = O_h = m\ 3\ m.$$

Raţionamentul este următorul : Plane principale (π) şi axe L^3 secundare, nu se pot găsi decît în sistemul cubic. Deci, vor fi 3 plane π şi 4 axe L^3: $\begin{matrix}-\\3\pi\end{matrix}\ \begin{matrix}4L^3\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}-\\-\end{matrix} \rightarrow \begin{matrix}3L^2\\3\pi\end{matrix}\ \begin{matrix}4L^3_{6m}\\-\end{matrix}\ \begin{matrix}-\\-\end{matrix}\ C$

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Se înţelege că vor exista cele 3 axe principale de ordin par, perpendiculare, deci şi centru, iar axele de ordin impar vor fi giroide.

In clasa Oh, fiind notate planele P, din cauza centrului, vor fi şi axe L^2, ambele elemente, în număr de 6 deci formula completă de simetrie va fi: $\underset{3\pi}{3L^4}\ 4L^3_{6m}\ \underset{6P^2}{6L^2}\ C$.

11) La clasa planală, care nu are plane principale, se notează axa principală, giroida L^2_{4i}, deci :

$$(32) = 3L^2_{4i}\ 4L^3 - - = T_d = \bar{\bar{4}}3m.$$
$$- \quad - \quad 6P$$

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

NOTATIILE PRESCURTATE ALE CLASELOR DE SIMETRIE
-tablou comparativ-

Nr.	Clasa de simetrie	Schoenflies	Internațională
1.	L^1	C_1	1
2.	L^2	C_2	2
3.	L^3	C_3	3
4.	L^4	C_4	4
5.	L^6	C_6	6
6.	C	C_i	$\bar{1}$
7.	$L^2 \Pi C$	C_2h	2/m
8.	$L^3_6 C$	C_{3i}	$\bar{3}$
9.	$L^4 \Pi C$	C_4h	4/m
10.	$L^6 \Pi C$	C_6h	6/m
11.	P	C_s	m
12.	$L^2 2P$	C_2v	mm
13.	$L^3 3P$	C_3v	3m
14.	$L^4 4P$	C_4v	4mm
15.	$L^6 6P$	C_6v	6mm
16.	$L^2 2L^2$	D_2	222
17.	$L^3 3L^2$	D_3	32
18.	$L^4 4L^2$	D_4	42
19.	$L^6 6L^2$	D_6	62
20.	$L^2 \Pi 2L^2 2P^2 C$	D_2h	mmm sau 2/m mm
21.	$L^4 \Pi 4L^2 4P^2 C$	D_4h	4/m mm
22.	$L^6 \Pi 6L^2 6P^2 C$	D_6h	6/m mm
23.	$L^3_6 3L^2 3P^2 C$	D_3d	$\bar{3}$m
24.	L^2_4	S_4	$\bar{4}$
25.	L^3_{6i}	C_3h	$\bar{6}$
26.	$L^2_4 2L^2 2P$	D_2d	$\bar{4}$2m
27.	$L^3_{6i} 3L^2 3P$	D_3h	$\bar{6}$m2
28.	$3L^2 4L^3$	T	23
29.	$3L^2 4L^3_6 3\Pi C$	Th	m3
30.	$3L^2_4 4L^3 6P$	Td	$\bar{4}$3m
31.	$3L^4 4L^3 6L^2$	O	43
32.	$3L^4 4L^3_6 6L^2 3\Pi 6P^2 C$	Oh	m3m

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.

CRISTALOGRAFIA GEOMETRICA

A. FORMELE POLIEDRICE ALE CRISTALELOR

VI. AXE CRISTALOGRAFICE. RELAŢII INTRE FEŢELE DE CRISTAL SI AXELE CRISTALOGRAFICE.

1. DIRECŢII UNICE SI DIRECŢII SIMETRIC EGALE IN CRISTALE

Unii cristalografi, cum sînt cristalografii şcolii Fedorov din Leningrad, deduc clasele de simetrie împărţind cristalele în două grupe: cristale cu direcţii unice şi cristale fără direcţii unice. Aşa sînt toate axele primitive de la care am plecat şi noi, de altfel, în deducerea claselor de simetrie din categoria inferioară şi mijlocie de singonii. Astfel de ex., la prisma tetragonală, cu formula de simetrie $L^4\ 2L^2\ 2L'^2$, axa L^4 este o direcţie unică, pentru că nici unul $\pi\ 2P^2\ 2P'^2\ C$ din celelalte elemente de simetrie nu mai duce la repetarea ei.

Axele L^2 sînt repetate atît conform axei L^4 cît şi conform planelor P. Se spune că direcţiile acestor axe sînt direcţii simetric egale.

In cristalele sistemului triclinic toate direcţiile sînt unice; nu există direcţii simetric egale.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

In cristalele sistemului monoclinic sînt o infinitate de direcţii unice,dar sînt şi o mulţime de direcţii simetric egale.

Axa L^2 sau direcţia perpendiculară pe planul de simetrie P, ca şi orice direcţie perpendiculară pe L^2, sau cuprinsă în planul P, sînt direcţii unice, în timp ce direcţiile înclinate faţă de axa L^2, sau de planul P, se repetă faţă de aceste elemente şi fiecare pereche de astfel de direcţii, constituie direcţii simetric egale.

In sistemul rombic sînt trei direcţii unice,care corespund celor 3 axe L^2 sau sînt perpendiculare pe cele 3 plane de simetrie. Toate celelalte direcţii sînt simetric egale.

In sistemul trigonal, în sistemul tetragonal şi în cel hexagonal, există cîte o singură direcţie unică, care coincide cu axa L^3, L^4 sau L^6.

Toate direcţiile înclinate faţă de aceste axe, sînt direcţii simetric egale. Se înţelege însă că numărul minim acestor direcţii este egal cu ordinul axei principale: în sistemul trigonal, trei; în sistemul tetragonal, patru; în sistemul hexagonal, şase.

In sistemul cubic nu există nici o direcţie unică, toate direcţiile sînt simetric egale. Cea mai redusă categorie de direcţii simetric egale o constituie cele 3 axe principale, L^2 sau L^4, dar acestea sînt totdeauna însoţite de cele 4 direcţii simetric egale ale axelor L^3, iar alte ori şi de alte asemenea direcţii.

Tocmai acest grup minim de trei direcţii simetric egale, axele primitive L^2, serveşte ca grupă primitivă de axe, în deducerea claselor de simetrie ce formează sistemul cubic, aşa cum am procedat şi noi.

Cele mai multe categorii de direcţii simetric egale se găsesc la cub: $3L^4$, $4L^3$, $6L^2$, 3 între L^3 şi L^4, 3 între între L^3 şi L^2, 4 între L^4 şi L^2 şi 1 între L^4,L^3 şi L^2; în total 24.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Si proprietăţile cristalelor se manifestă în raport cu aceste direcţii.

Pe direcţiile simetric egale, proprietăţile sînt identice; pe direcţiile unice, proprietăţile cristalelor se manifestă caracteristic pentru fiecare direcţie.

2. AXE CRISTALOGRAFICE. CARACTERIZAREA SISTEMELOR CRISTALINE PRIN RELAŢIILE AXIALE

Atunci cînd am arătat unele proprietăţi ale reţelei spaţiale, ne-am folosit de cele trei şiruri reticulare principale ale reţelei:

$A_o A_1 A_n$ . . . , $A_o B_1 B_n$ . . . şi $A_o C_1 C_n$ . . ca de nişte axe de coordonate şi în paralelepipedul elementar , am măsurat parametrii fundamentali a,b,c de la originea acestor axe, A_o, adică de la intersecţia şirurilor reticulare.
In cristalografia geometrică asemenea axe de coordonate se folosesc în mod curent.

In mod obişnuit, în matematică, se foloseşte sistemul de 3 axe de coordonate perpendiculare între ele x,y şi z, considerîndu-se ca axă x, - x, axa orizontală din planul desenului, ca axă y,-y, axa orizontală, perpendiculară pe planul desenului şi ca axă z, - z axa verticală din planul desenului.care este perpendiculară pe celelalte două axe(fig. 73).
Pe figurile geometrice aceste axe se consideră astfel ca să treacă prin centrul lor sau astfel ca să se suprapună cu trei muchi concurente ale formei şi,în general,în poziţii convenţionale, arbitrare.

In cristalografie, axele de coordonate sînt alese după consideraţii de ordin structural şi sînt legate de simetria sistemelor cristaline.
Ele corespund totdeauna unor şiruri reticulare de mare densitate şi se aleg astfel ca să fie paralele cu muchile reale sau posibile de cristal.

Din aceste motive, axele de coordonate folosite în cristalografie se numesc axe cristalografice.

Sistemul de axe cristalografice este legat direct de simetria, forma şi oreientarea formelor primitive, care sînt, după cum am văzut, de cele mai multe ori, paralelepipezi elementari.De aceea, pentru o serie de singonii de cristale se folosesc sistemele de 3 axe, care se însemnă cu x $\bar{x}$, y $\bar{y}$ şi z $\bar{z}$, iar pentru altele, de obicei, un sistem de 4 axe - x $\bar{x}$, y $\bar{y}$, u $\bar{u}$ şi z $\bar{z}$.

Sistemele de axe cristalografice se plasează cu originea în mijlocul cristalului, iar axele sînt orientate, în general, paralel cu muchile şi respectiv, cu şirurile reticulare ale paralelepipedului elementar,care se intersectează într-un colţ al său.

In planul desenului sînt cuprinse axele z $\bar{z}$ şi y $\bar{y}$; axa y $\bar{y}$ se aşează totdeauna în poziţie orizintală. Axa x $\bar{x}$, în cazul sistemului de 3 axe, sau axele x $\bar{x}$ şi u $\bar{u}$ în cazul sistemului de 4 axe, sînt cuprinse într-un plan care intersectează planul desenului după axa y $\bar{y}$, pe care o cuprinde şi acest plan (fig.74).

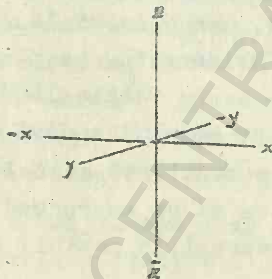


Fig.73.

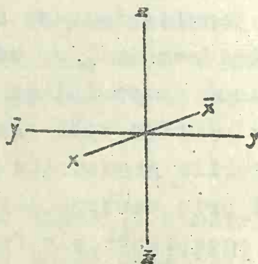


Fig.74.

In primul rînd se folosesc ca axe cristalografice axele de simetrie din clasele planaxiale ale singoniei respective, care satisfac cerinţele arătate mai sus.
Axele cristalografice pentru care nu există axe de simetrie în singonia respectivă, se aleg prin analogie cu axele celorlalte sisteme, astfel ca să fie paralele cu muchiile concurente ale paralelepipedului elementar.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

In cele ce urmează, vom prezenta sistemele de axe cristalografice, pentru fiecare singonie în parte, aplicînd principiile de mai sus şi stabilind relaţiile axiale care le caracterizează.

2.1 . IN SISTEMUL CUBIC

Paralelepipedul elementar este un cub (hexaedru) care are formula de simetrie $\frac{3L^4}{3\pi}\ \frac{4L^3_{6m}6L^2}{6P^2}\ C$. Cele 3 axe L^4 care unesc mijlocul feţelor opuse, două cîte două, sînt perpendiculare între ele. Acestea îndeplinesc toate condiţiile şi sînt alese ca axe cristalografice (fig.75).

Unghiul opus axei x, făcută de axele y şi z, se notează cu litera α .
Unghiul opus axei y, cuprins între axele x şi z, se notează cu litera β , iar unghiul opus axei z, cuprins între axele x şi y, cu litera γ . Axele fiind perpendiculare între ele, putem scrie : $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$.
In ceea ce priveşte parametrii fundamentali, toate muchile cubului fiind egale între ele, şi parametrii sînt egali, deci a = b = c şi raportul lor este a: a: a.

Raportul dintre unghiurile axelor împreună cu raportul dintre parametrii fundamentali, constituie relaţia axială a sistemului şi îl caracterizează. In cazul sistemului cubic relaţia axială este: $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$.
a: a: a :

2.2. IN SISTEMUL TETRAGONAL

Paralelepipedul elementar este o prismă tetragonală cu formula de simetrie $\frac{L^4}{\pi}\ \frac{2L^2}{2P^2}\ \frac{2L'^2}{2P'^2}\ C$.

Avem aici o direcţie unică, axa principală L^4 şi două perechi de axe de ordinul 2, perpendiculare între ele,

două cîte două şi perpendiculare pe axa L^4.
Se alege axa L^4 ca axă z, iar ca axe x şi y se aleg cele 2 axe L^2 care unesc 2 cîte 2 muchiile laterale ale paralelepipedului elementar (fig. 76).
Aceastea îndeplinesc condiţiile pe care trebuie să le îndeplinească axele cristalografice.

In ceea ce priveşte raportul dintre unghiurile pe care le fac între ele axele, două cîte două, avînd aceaşi situaţie ca şi la sistemul cubic : $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$.

In ceea ce priveşte însă parametrii fundamentali, aici situaţia este diferită: $a = b \neq c$.
Astfel sistemul tetragonal este caracterizat prin relaţia axală : $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$.

a : a :c

2.3. IN SISTEMUL ROMBIC

Paralelepipedul elementar este o prismă dreptunghiulară,care se consideră uneori formă primitivă. Pentru stabilirea axelor se pleacă de la formula sa de simetrie sau de la formula de simetrie a prismei ortorombice, care este alteori considerată ca formă primitivă.

Ambele au simetrie: $\frac{L^2 \; L'^2 \; L''^2}{\pi \; p'^2 \; p''^2} C$

Cele 3 digire sînt perpendiculare între ele şi îndeplinesc condiţiile, astfel că sînt alese ca axe cristalografice (fig.77).

Si în acest caz, raportul dintre unghiuri este tot : $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$, însă toţi cei 3 parametri fundamentali sînt diferiţi între ei: $a \neq b \neq c$ şi deci relaţia axială a sistemului va fi:
$\alpha = \beta = \gamma = 90^o$
a: b:c

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.4. IN SISTEMUL MONOCLINIC

Paralelepipedul elementar are 3 perechi de fețe, dar fiind aplecat într-o direcție nu mai are decît 2 perechi de fețe dreptunghice; a treia are fețe paralelograme (fig. 78 și 79).

Forma primitivă poate fi considerată aceasta, sau, ca și la sistemul rombic, o prismă rombică, dar aplecată, la fel, într-o direcție.
Ambele au formula de simetrie $\frac{L^2}{\pi}C$. Nu găsim deci decît o singură axă de simetrie, L^2 pe care o alegem ca axă cristalografică y $\bar{y}$.
Prin analogie cu sistemul rombic, luăm ca axe x$\bar{x}$ și z $\bar{z}$ cele 2 drepte care unesc mijlocul celorlalte perechi de fețe sau de muchi laterale. Ele sînt cuprinse în planul de simetrie perpendicular pe axa L^2 și paralele cu 2 muchi din cele care formează un colț al paralelepipedului.
Forma este aplecată pe direcția planului de simetrie. Raportul dintre unghiurile axelor este: $\alpha = \gamma = 90^0 = \beta$.

Ca și în sistemul rombic, toți parametrii fundamentali sînt diferiți între ei: $a \neq b \neq c$.

Sistemul monoclinic este caracterizat prin relația axială:

$\alpha = \gamma = 90^0 \neq \beta$.

a : b :c

2.5. SISTEMUL TRICLINIC

Acesta are forma primitivă tot un paralelepiped cu 3 perechi de fețe, toate însă în formă de paralelogram, așa că forma este aplecată în toate cele 3 direcții.
Singurul său element de simetrie este centrul de inversiune.

Ca axe cristalografice se aleg, prin analogie cu sistemele anterioare, cele 3 direcții paralele cu muchiile

AXE CRISTALOGRAFICE

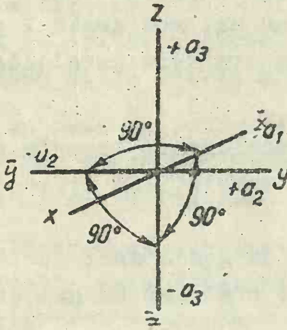


Fig.75. Sistemul cubic

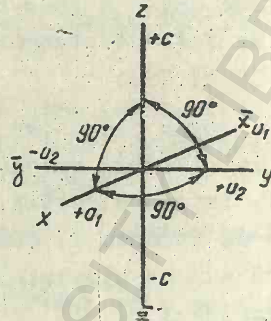


Fig.76. Sistemul tetragonal

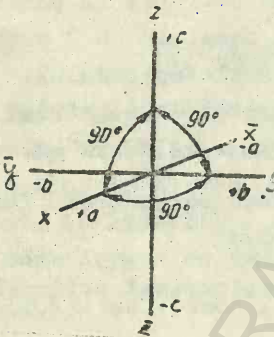


Fig.77. Sistemul rombic

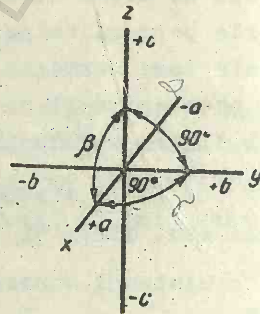


Fig.78. Sistemul monoclinic

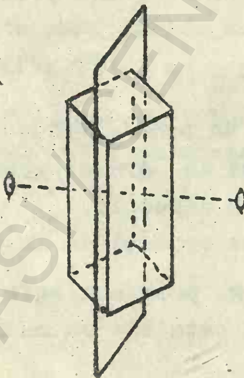


Fig. 79. Sistemul monoclinic

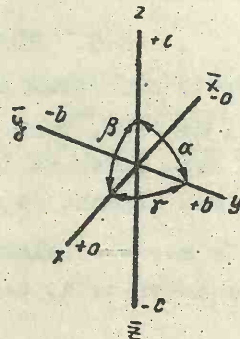


Fig. 80. Sistem triclinic

concurente într-un colţ al paralelepipedului elementar şi legate de simetria formei prin intersecţia lor în centrul de inversiune (fig. 80).
Toate axele fac unghiuri diferite între ele şi diferite de 90^{o}.
Raportul dintre unghiuri este : $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{o}$. Ca şi în celelalte singonii din categoria inferioară, parametrii fundamentali sînt diferiţi între ei: $a \neq b \neq c$.

Sistemul triclinic este caracterizat prin relaţia axială: $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{o}$

a : b: c.

2.6. IN SISTEMUL HEXAGONAL

Paralelepipedul elementar este o prismă hexagonală centrată pe feţele de bază, ca şi cum ar rezulta prin repetarea unei prisme rombice după o muchie laterală opusă unghiului obtuz, de 120^{o}, care formează la baze cîte un hexagon centrat (fig. 81).
Formula de simetrie a prismei hexagonale este: $\frac{L^6}{\Pi}$ $3L^2_2$ $3L'^2_2$ C. $3P^2$ $3P'^2$

Ca şi la sistemul tetragonal, avem o direcţie unică, axa L^6, pe care o luăm ca axă z.
In ceea ce priveşte axele perpendiculare pe aceasta, digirele, ele sînt de două feluri ca şi la sistemul tetragonal, dar digirele, perpendiculare între ele, nu mai sînt de acelaşi fel. Axele L^2 sînt perpendiculare pe L'^2.

Pe baza principiilor stabilite şi în legătură cu simetria, folosim în acest caz sistemul de 4 axe cristalografice şi luăm toate cele 3 axe L^2, de acelaşi fel, ca axe x,y şi u.

Prin analogie cu sistemul tetragonal, considerăm unghiul α, unghiul făcut de axele y şi z unghiul β, unghiul făcut de axele x şi z şi unghiul γ, unghiul făcut de axele x şi y.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Axele x, y şi u se găsesc în planul π care este perpendicular pe axa z şi fac între ele acelaşi unghi de 120^o.

Uneori se notează şi unghiul opus axei u, cu litera δ şi atunci relaţia între unghiuri este: $\alpha = \beta = \delta = 90^o \neq \gamma = 120^o$ dar este suficient şi $\alpha = \beta = 90^o \neq \gamma = 120^o$, cum se scrie adesea.

Parametrii fundamentali, corespunzători axelor orizontale, sînt egali între ei şi diferiţi de parametrul corespunzător axei z, ca şi în sistemul tetragonal şi notînd cu litera d parametrul pentru axa u avem : a = b = d$\neq$c, deci cu raportul a:a:a:c sau mai simplu a:a:c.

Relaţia axială a sistemului hexagonal este prin urmare, $\alpha = \beta = 90^o \neq \gamma = 120^o$.

a : a : c.

2. 7. IN SISTEMUL TRIGONAL

a. Paralelepipedul elementar este un romboedru, cu formula de simetrie $L^3_{6m} 3L^2_{3P^2}$ C.

Axa L^3_{6m} de ordin superior, care este direcţie unică în cristal, este şi aici luată ca axă z. Ca şi în sistemul hexagonal, se aleg toate cele 3 axe L^2, de acelaşi fel, ca axe orizontale x,y şi u, aşa că avem tot un sistem de 4 axe, aceleaşi, cu relaţia axială tot: $\alpha = \beta = 90^o \neq \gamma = 120^o$

a : a: c

Acesta este sistemul de axe cristalografice a lui Bravais (fig.82).

b. Se mai folosesc însă în sistemul trigonal ca axe cristalografice şi direcţiile paralele cu 3 muchi concurente în capătul axei principale, L^3_{6m} care se mai numesc şi muchi polare.

Romboedrul apare ca un cub alungit sau scurtat după una din axele L^3_{6m} care-i unesc colţurile opuse.

Ac.. sistem de 3 axe cristalografice care unesc mijlocul perechilor de fețe opuse, este, din acest punct de vedere, analog cu sistemul de axe x,y şi z ale cubului.
Unghiurile ce fac aceste axe între ele sînt egale între ele, dar sînt diferite de 90^0, aşa că sînt în raportul $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^o$
Muchiile sînt totdeauna egale între ele, aşa că şi raportul dintre parametri va fi a = b = c sau a : a : a, iar relația axială a sistemului trigonal va fi: $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$
a: a: a

Acesta este sistemul de axe cristalografice a lui Miller (fig.83)

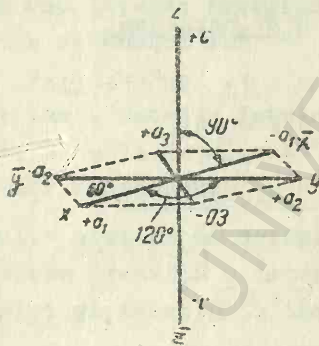


Fig.81. Sistemul hexagonal

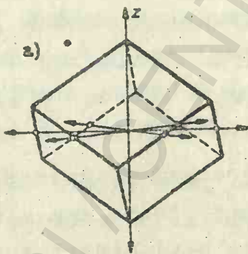


Fig.82. Sistemul trigonal
Axe Bravais

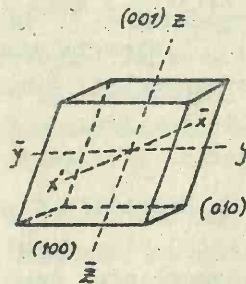


Fig.83. Sistem trigonal
Axe Miller

2.8. RECAPITULARE

Relaţiile axiale ale celor 7 sisteme cristaline, sînt deci:

In categ. sup.	mijlocie	inferioară
Sistemul cubic	Sistemul tetragonal	Sistemul rombic.
$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$
a : a : a	a : a : c	a : b : c
	Sist.hexagonal	Sist.monoclinic
	$\alpha = \beta = 90^{\circ} \neq \gamma = 120^{\circ}$	$\alpha = \gamma = 90^{\circ} \neq \beta$
	a : a : c	a : b : c
	Sist.trigonal	Sist. triclinic
	$\alpha = \beta = 90^{\circ} \neq \gamma = 120^{\circ}$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{\circ}$
	a : a : c	a : b : c

Primele sisteme din fiecare categorie, se aseamănă prin raportul dintre unghiuri: $\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$ şi se deosebesc prin raportul dintre parametri : toţi egali: doi egali şi unul diferit ; toţi diferiţi.

Sistemele din aceeaşi categorie au acelaşi raport între parametri: cat. superioară, toţi egali, a = b = c ; categorie mijlocie, doi egali şi unul diferit, a = b ≠ c; categoria inferioară, toţi diferiţi, a≠b≠c.

Sistemele din categoria inferioară se deosebesc prin raportul dintre unghiuri: Sist.rombic, toate egale cu 90°; sist.monoclinic, două egale cu 90° şi unul diferit; sist. triclinic, toate unghiurile diferite între ele şi diferite de 90°.

In categ. mijlocie, sistemul tetragonal se deosebeşte de sistemul hexagonal şi trigonal tot prin raportul dintre unghiuri, ultimele două sisteme, avînd însă aceeaşi relaţie axială.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

3. NOTAȚIA FEȚELOR DE CRISTAL

In mod obişnuit, în desenul formelor geometrice, feţele poliedrelor se notează cu litere sau se numerotează, cu cifre, ca de ex.în cazul unui cub (fig.84).

Aceste litere sau cifre se aşează arbitrar: de la dreapta la stînga sau invers; începînd cu feţele din partea anterioară a desenului sau cu feţele laterale ale formei, etc.
In cristalografie însă, notaţia feţelor constituie o ex= presie geometrică. Notaţia feţelor de cristal caracterizează numeric aşezarea lor reciprocă.

Sînt mai multe sisteme de notaţie a cristalelor, dar mai ales două sisteme prezintă o importanţă actuală: notaţia în parametri şi notaţia în indici.

3.1. NOTAȚIA IN PARAMETRI

Acest sistem de notaţie, introdus de cristalograful Weiss, a fost stabilit pe baza unor însuşiri care caracterizează poliedrele cristaline şi oferă cele mai mari posibilităţi pentru înţelegerea semnificaţiei tuturor sistemelor de notaţie cristalografică.

La timpul său, notaţia în parametri a fost legată de unele aspecte şi însuşiri aparente, externe ale cristalelor. Ca şi aceste însuşiri, de altfel, sensul notaţiei poate fi acum înţeles şi mai bine, pe baza structurii reticulare a cristalelor.

Să considerăm din nou reţeaua tridimensională (fig. 85) determinată de şirurile reticulare $A_o A_1 A_n$ . . $A_oB_1B_n$ . . $A_oC_1C_n$ . . , cu paralelepipedul elementar

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

A_oA_1, A_oB_1, A_oC_1, ale cărui laturi sînt egale cu parametrii fundamentali a,b,c.

Să luăm muchiile corespunzătoare acestor şiruri reticulare ca axe de coordonate x,y,z.

Faţa care intersectează cele 3 axe în punctele A_1,B_1C_1 la distanţele a,b,c, se numeşte faţă fundamentală. Poziţia ei în raport cu axele de coordonate este determinată de raportul dintre parametrii a:b:c.
Să luăm acum o faţă care trece prin nodurile A_2,B_2,C_2. Poziţia acestei feţe în raport cu axele de coordonate va fi dată de raportul 2a:2b:2c care se reduce tot la raportul a:b:c ce caracterizează faţa $A_1B_1C_1$. Cele două feţe sînt paralele, iar faţa $A_2B_2C_2$ este tot o faţă fundamentală.

In general,o faţă cu parametrii ta:tb:tc, deci cu raportul dintre parametri a: b: c, este o faţă fundamentală.

Pentru notaţia în parametri a feţelor de cristal, se alege o faţă fundamentală a cristalului şi se exprimă poziţia tuturor celorlalte feţe în raport cu parametrii acesteia. Astfel, de ex. (fig.86), dacă vom considera faţa fundamentală $A_1B_1C_1$, cu parametrii, a,b,c, şi vom lua altă faţă, $A_4B_3C_2$, neparalelă cu aceasta, care intersectează axele la distanţele:

A_oA_4 = 4a; A_oB_3 = 3b; A_oC_2 = 2c, poziţia ei faţă de axele de coordonate va fi dată de raporturile A_oA_4:A_oB_3:A_oC_2 = 4a:3b:2c.

In general, poziţia unei feţe oarecare $A_mB_nC_p$ a cristalului în raport cu axele de coordonate,va fi definită în funcţie de poziţia feţei fundamentale,prin raportul A_oA_m : : A_oB_n:A_oC_p, egal cu raportul dintre parametri săi:a_m:b_n:c_p = ma:nb:pc.

Valorile m,n,p, care sînt coeficienţii parametrilor fundamentali, se mai numesc şi lungimile numerice sau caracteristicile feţei $A_mB_nC_p$. Dacă sînt numere fracţionare se transformă în numere întregi prin eliminarea numitorilor,deoarece acest lucru nu schimbă rapoartele dintre ei: Parametrii

feţei $A_mB_nC_p$ nu sînt decît multiplii simpli ai parametrilor fundamentali (a,b,c),iar faţa se notează prin raportul ma: nb:pc, totdeauna în aceeaşi ordine, m corespunde ca şi a axei x,n corespunzînd ca şi b axei y, iar p ca şi c axei z.

In cazul poliedrelor cristaline, reale, se înţelege că feţele de cristal sînt situate la distanţe de zeci şi sute de milioane de ori mai mari decît parametrii unitari, dar, feţele paralele avînd aceleaşi însuşiri cristalografice orice consideraţii făcute pentru o faţă de cristal sînt valabile pentru toate feţele paralele cu ea.

Parametrii feţelor pot fi pozitivi sau negativi, după cum faţa intersectează axa respectivă pe partea pozitivă sau pe cea negativă.

Parametrii negativi poartă semnul minus deasupra lor, de ex. m$\bar{a}$: nb: pc, pentru o faţă care taie axa x pe partea ei negativă.

Ca orice coeficient, caracteristicile egale cu 1 nu se scriu; în cazul caracteristicilor egale, prin împărţirea la valoarea lor, acestea se reduc întotdeauna la 1, fără ca poziţia feţelor să se schimbe. Aşa este cazul oricărei feţe fundamentale, în care m=n=p şi a cărei notaţie se reduce la a:b:c, aşa cum am văzut în cazul feţei A_oA_2 = A_oB_2 = A_oC_2 = 2a:2b:2c a cărei notaţie este deci identică cu a feţei fundamentale.

Faţa paralelă cu o axă, se spune că întîlneşte axa la infinit,aşa încît caracteristica sa pentru axa respectivă este infinit de mare; se notează cu ∞. De ex. ma:nb:∞c, pentru o faţă paralelă cu axa z, cum ar fi în cazul prismei rombice (fig. 87).

Faţa care se sprijină pe axele x şi y, fiind paralelă cu z, se notează cu a:b:∞c, iar faţa care intersectează capătul pozitiv al axei x şi cel negativ al axei y,fiind paralelă cu axa z, se notează cu a:$\bar{b}$:∞c.

Trebuie să precizăm că totdeauna se iau ca axe de coordonate,axele cristalografice ale sistemului respectiv.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

3.2. NOTATIA IN INDICI

Cristalograful Miller a introdus un sistem şi mai simplu de notaţie, notaţia în indici,care de altfel, este obţinută tot din notaţia în parametri.

Am văzut că relaţiile dintre parametrii unei feţe oarecare, $A_m B_n C_p$ se exprimă prin raportul, ma=nb:pc (1).

Putem însă exprima şi invers,raportul dintre parametrii fundamentali şi parametrii feţei respective, sub forma: $ha_m:kb_n:lc_p=a:b:c$,(2) în care h,k,l, sînt coeficienţii cu care trebuiesc înmulţiţi parametrii feţei considerate, pentru a obţine parametrii fundamentali.

Aceşti coeficienţi se numesc <u>indicii feţei de cristal</u>.

Dacă împărţim cei doi membri ai egalităţii (2) cu raportul $a_m:b_n:c_p$, respectiv cu echivalentul său, ma:nb:pc (1), rezultă:

$$\frac{ha_m}{a_m} : \frac{kb_n}{b_n} : \frac{lc_p}{c_p} = \frac{a}{ma} : \frac{b}{nb} : \frac{c}{pc}$$

de unde, $h:k:l = \frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{p}$, adică indicii sînt invers proporţionali cu caracteristicile: $h = \frac{1}{m}$, $k = \frac{1}{n}$ şi $l = \frac{1}{p}$.

Indicii fiind inversul caracteristicilor, pot defini ca şi acestea, poziţia feţei de cristal în raport cu faţa fundamentală.

Indicii feţei de cristal se scriu între paranteze curbe, fără nici un semn între ei, sub forma (hkl),care este simbolul feţei şi se scriu, totdeauna în această ordine: h corespunde axei x,k corespunde axei y, iar l axei z.

In cazul cînd faţa intersectează partea negativă a unei axe, indicele este negativ şi semnul minus se pune deasupra indicelui. Ex. $\bar{h}kl$) pentru indicele negativ corespunzător axei x.

M

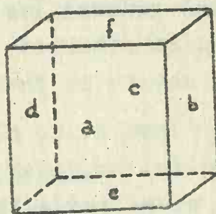


Fig. 84 a

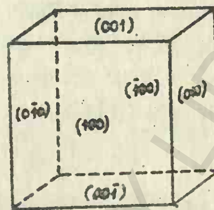


Fig. 84 b

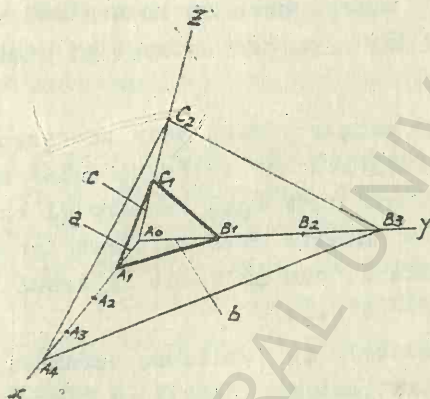


Fig. 86

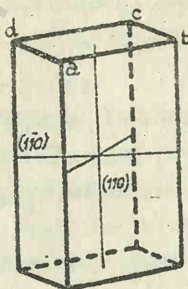


Fig. 87.

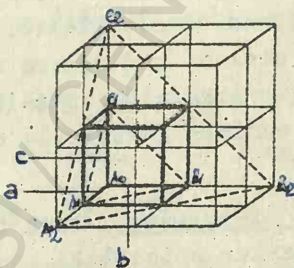


Fig. 85.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

In cazul cînd fața este paralelă cu o axă, caracteristica sa pentru acea axă fiind $=\infty$, indicele va fi egal cu zero ($\frac{1}{\infty} = 0$).Așa-i în cazul prismei rombice: fața a:b: ∞c va fi notată, în general cu $(h\ k\ o)$, concret cu (110), iar fața a: $\bar{b}$: ∞ c, va fi notată cu $(h\ \bar{k}\ o)$, respectiv, cu $(1\bar{1}0)$.

Ca și în cazul caracteristicilor,dacă indicii sînt fracționari,se elimină numitorii și se reduc la numere întregi. De ex. pentru fața a:2b:3c, inversele caracteristicilor $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{2}$ și $\frac{1}{3}$ duc pentru axele y și z la indici fracționari. Aducînd fracțiile la același numitor, $\frac{6}{6}$, $\frac{3}{6}$, $\frac{2}{6}$ și suprimînd numitorul comun, ceea ce nu schimbă raportul dintre indici, aceștia devin numere întregi și simbolul feței este (632).

Atunci cînd un singur indice este reprezentat printr-o cifră semnificativă iar ceilalți sînt egali cu zero, sau cînd unul singur este egal cu zero și ceilalți doi au valori egale, se împarte prin valoarea lor și se înlocuiesc deci cu cifra 1, cum am văzut în cazul prismei rombice la fețele (110) și $(1\bar{1}0)$.

Formele fundamentale au totdeauna caracteristici egale cu 1,vor avea și notația generală (111). La simbolul fețelor se citește fiecare indice: în cazul feței fundamentale, unu, unu,unu și nu o sută unsprezece.

Inmulțirea sau împărțirea tuturor indicilor,ca și a tuturor caracteristicilor cu același număr, are semnificația deplasării feței într-o poziție paralelă, fără a-i schimba orientarea și deci, fără a-i schimba însușirile cristalografice.

<u>In sistemul hexagonal și trigonal,</u> unde parametrii fundamentali corespunzători axelor orizontale sînt egali între ei și diferiți de parametrul corespunzător axei z, raportul lor va fi a:a:c sau a:a:a:c.

Notația generală a unei fețe în parametri va fi, ma: nb:qd:pc, iar simbolul său va fi compus din 4 indici,cores-

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

punzător celor 4 axe cristalografice (x , y, u şi z), în general (hkīl), din care indicele ī, pentru axa u ū, a cărei capăt negativ este situat în faţă, între capetele pozitive ale axelor x şi y.

In orice poziţie, suma primilor trei indici este egală cu zero.
Această relaţie dintre indicii corespunzători axelor orizontale, rezultă din următoarea construcţie: (fig.88).

Se consideră secţiunea orizontală a unei bipiramide hexagonale, a cărei plan π conţine axele x $\bar{x}$,y $\bar{y}$ şi u $\bar{u}$. Se ia o faţă care taie toate cele 3 axe cu muchia sa de bază perpendiculară pe capătul C al axei u $\bar{u}$, în partea negativă şi care este paralelă cu o faţă fundamentală ce trece prin D şi E.
Axele x $\bar{x}$ şi y $\bar{y}$ sînt întîlnite pe prelungirea lor în punctele A şi B. Hexagonul care conţine muchia de bază a feţei considerate, reprezintă o altă bipiramidă hexagonală, rotită cu 30° faţă de prima, în jurul axei L^6.
Notăm cu D, colţul primului hexagon, prin care trece capătul pozitiv al axei x şi cu O, originea axelor.

Prin desen au rezultat triunghiurile asemenea AOB şi ADC, din care se deduc rapoartele $\frac{OA}{DA} = \frac{OB}{DC}$.

Luînd parametrii fundamentali ca unităţi de măsură, înlocuim parametrii feţei considerate prin caracteristicile ei:

$\overline{OA} = m; \overline{OB} = n; \overline{OC} = q$

Din triunghiul echilateral ODC, rezultă că:

$\overline{OD} = \overline{DC} = \overline{OC} = q$ şi $\overline{DA} = \overline{OA} - \overline{OD} = m - q$

Proporţia de mai sus devine:

$\frac{m}{m-q} = \frac{n}{q}$. De unde, $mq = n(m-q) = nm-nq$, sau $mq+nq = nm = q(m+n)$ şi deci $q = \frac{nm}{m+n}$.

Inlocuind caracteristicile numerice prin inversele lor, adică prin indici, rezultă:

$$\frac{1}{i} = \frac{\frac{1}{h} \cdot \frac{1}{k}}{\frac{1}{h} + \frac{1}{k}} \text{, de unde } i = \frac{\frac{1}{h} + \frac{1}{k}}{\frac{1}{h} \cdot \frac{1}{k}} = \frac{\frac{h+k}{hk}}{\frac{1}{hk}} = h+k$$

Dar i fiind negativ, putem scri i = - (h+k), sau trecîndu-l în membrul al doilea, i-h-k=0, sau $h+k+\bar{i} = 0$; suma primilor trei indici ai feței este egală cu zero.

In cazul de față s-a luat fața fundamentală 2a: 2a:ā:c . Calculînd indicii, $\frac{1}{2} : -\frac{1}{2} : \frac{1}{1}$ pentru axele orizontale, avem $11\bar{2}$, iar simbolul feței fundamentale ($11\bar{2}1$).

Si în cazul unei fețe oarecare. FG, se formează aceleași triunghiuri asemenea și rezultă același raport între indici.

<u>La sistemul trigonal</u>, dacă luăm în considerație și sistemul de axe cristalografice al lui Miller, vom avea notația cu 3 parametri, respectiv 3 indici, conform relației axiale, $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$.
a : a : a

Romboédrul primitiv (fig.89), va avea aceeași notație a fețelor ca și cubul ; de ex. pentru fața anterioară, a : ∞a : ∞a, respectiv (100), iar fața fundamentală, care taie colțul cu L^3, asemănător cu o față de octoedru, va fi notată, ca și fața acestuia, tot cu a: a : a, respectiv (111).

In general, indicii Miller se notează cu (pqr). Intre indicii Miller și indicii Bravais (hkil), s-au stabilit anumite relații cu ajutorul cărora se pot transforma unii în alții

$$p = 2h + k + l$$

$$q = k - h + l \quad \text{și invers} \quad h = \frac{p-q}{3}, \quad k = \frac{q-r}{3}$$

$$r = -h - 2k + l \quad\quad i = \bar{h} + \bar{k} \text{ și } l = \frac{p+q+r}{3}$$

Unghiurile se calculează din relaţia $90 - \frac{\alpha}{2} = \sphericalangle$ dintre (001) şi (01$\bar{1}$).

Pentru definirea formei primitive, este suficient să se cunoască unghiul diedru corespunzător unei muchii polare, luată ca axă de coordonate, adică unghiul normalelor celor două feţe ce determină muchia şi se poate calcula unghiul xoy dintre axele de coordonate (cristalografice).

4. LEGEA RAŢIONALITĂŢII INDICILOR

Am văzut că într-o reţea tridimensională se pot duce numeroase sisteme de plane reticulare, care pot corespunde unor feţe de cristal în cazul cînd parametrii nodurilor de reţea nu sînt prea mari în raport cu parametrii fundamentali. In cazul cînd caracteristicile au valori mari, ochiurile de reţea au suprafaţa mare şi densitatea nodurilor pe reţea remică. Coeziunea între particule fiind mică, aceste plane reticulare nu mai corespund unor feţe de cristal.

Parametrii planelor reticulare sînt multipli simpli ai parametrilor fundamentali, iar coeficienţii lor, caracteristicile m,n,p, sînt numere întregi şi mici pentru feţele de cristal, care trebuie să fie plane de mare densitate reticulară.

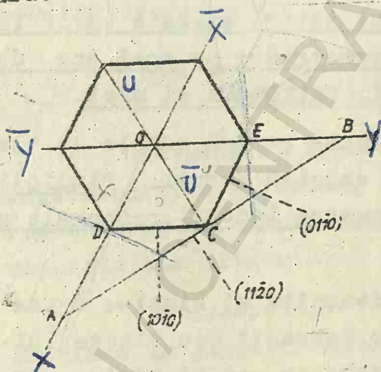


Fig. 88.

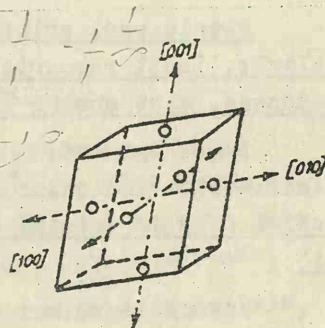


Fig. 89.

Toate planele reticulare considerate au fost alese astfel ca parametrii lor să fie multipli raţionali ai parametrilor fundamentali.

Dacă se ia însă un plan ai cărui parametri sînt multipli neraţionali ai parametrilor fundamentali, acel plan trece pe lîngă noduri; el nu va întîlni nici odată un nod al reţelei. Un asemenea plan nu poate constitui o faţă de cristal.

Aceasta înseamnă că orice faţă de cristal trebuie să treacă prin trei noduri ale reţelei care definesc un plan, iar parametrii săi fiind multipli întegi ai parametrilor fundamentali, rapoartele lor între caracteristicile m,n,p, sînt numere raţionale

Indicii feţei de cristal, fiind inverşii caracteristicilor, vor fi de asemenea numere întregi, raţionale şi mici. Raporturile dintre parametri, ca şi indicii, exprimă relaţiile de poziţie dintre diferitele feţe ale unui cristal.

Atît parametrii, cît şi indicii se pot determina pe baza unghiurilor dintre feţele de cristal.

Folosindu-se de un mare număr de măsurători de unghiuri, R.J. Haüy, profesor la Sorbona, a stabilit în 1784, legea fundamentală a cristalografiei geometrice, cunoscută sub numele de "legea raporturilor raţionale ale parametrilor", care se **formulează astfel:**

Feţele unui cristal sînt astfel aşezate unele faţă de altele, încît rapoartele parametrilor pe trei axe de coordonate, sînt numere întregi, raţionale şi mici.

Legea mai este cunoscută şi sub numele de "legea raţionalităţii indicilor" şi se exprimă astfel: "Indicii oricărei feţe de cristal sînt numere întregi, raţionale şi mici".

Uneori legea mai este denumită şi simplu: legea raţionalităţii", "legea numerelor întregi" sau "legea lui Haüy".

Relaţiile axiale ale feţelor pot fi scrise sub forma: ma: nb:pc, sau înlocuind caracteristicile prin indicii, $\frac{a}{h} : \frac{b}{k} : \frac{c}{l}$. Aceste relaţii sînt compuse din două părţi :

- o parte iraţională, a: b: c, constantă pentru toate feţele, ca de ex. la gips, 0,689 : 1 : 0,413 şi
- o parte raţională simplă (h:k:l) care variază cu faţa şi care determină poziţia ei.

5. METODE DE PROIECŢIE FOLOSITE IN CRISTALOGRAFIE

5.1. Proiecţia perspectivă paralelă

Atunci cînd se urmăreşte să se obţină o imagine care să ne redea cît mai apropiat aspectul unui cristal, se foloseşte proiecţia perspectivă paralelă.

In acest sistem, cristalul se proiectează pe un plan cu ajutorul unui fascicol de raze paralele, pe care-l considerăm că vine dintr-un punct vizual situat la infinit.
Dacă fascicolul cade perpendicular pe planul de proiecţie, avem o proiecţie ortogonală, iar dacă fascicolul cade oblic pe planul de proiecţie, avem o proiecţie înclinată.

a. Proiecţia ortogonală

Aceasta se întrebuinţează mai puţin în cristalografie şi anume, doar atunci cînd se urmăreşte să se scoată în evidenţă anumite aspecte particulare ale cristalului care are feţe numeroase.

In această proiecţie, muchiile neparalele, cuprinse în plane paralele perpendiculare pe planul de proiecţie, se proiectează tot după linii paralele.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Unghiurile însă, nu se proiectează în adevărata lor mărime decît dacă sînt paralele cu planul de proiecţie.
Dispoziţia grupelor numeroase de feţe este însă foarte clar exprimată în această proiecţie, aşa cum se poate vedea din proiecţia ortogonală în planul (001) a unui cristal de sulf cu feţele a (100), b (010), c (001), d (011), e (101), f (113), g (110), h (111) etc. (fig.90).
Tot printr-o proiecţie asemănătoare se redă foarte clar aspectul după axa z al unui cristal, foarte complicat, de topaz (fig. 91).
In ambele cazuri, nu avem însă, decît aspectul parţial al celor două cristale.

Pentru a avea o imagine a întregului cristal ar fi necesară proiecţia ortoganală în trei plane perpendiculare: în plan, în elevaţie şi în profil.

Astfel, o prismă rombică s-ar proiecta, în plan ca un dreptunghi mai îngust, iar în elevaţie ca un romb (fig.92).

Deşi destul de complicată, totuşi nici această proiecţie - foarte adecuată în cazurile anterioare - nu redă, în mod evident, aspectul de ansamblu al cristalului.

b. Proiectia înclinată

Aceasta este folosită în mod curent în reprezentarea poliedrelor, în desen - şi de asemenea, mult mai larg răspîndită şi în reprezentarea cristalelor.

Proiecţia înclinată redă o imagine mult mai apropiată de aspectul de ansamblu al cristalului, într-un mod mult mai simplu şi uşor de înţeles. Aici se dă cristalului o astfel de înclinare încît muchiile sale să nu se suprapună.

In ceea ce priveşte proiecţia muchiilor paralele, se întîmplă şi aici, acelaşi lucru ca şi la proiecţia ortogonală, dar aici nu se mai proiectează nici un fel de unghiuri în adevărata lor mărime.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

PROIECȚII

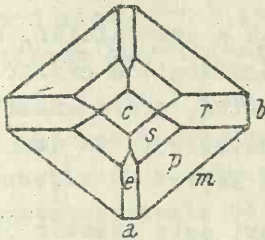


Fig. 90.

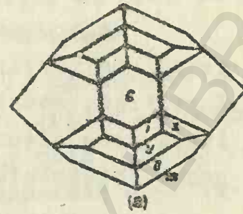


Fig. 91 a

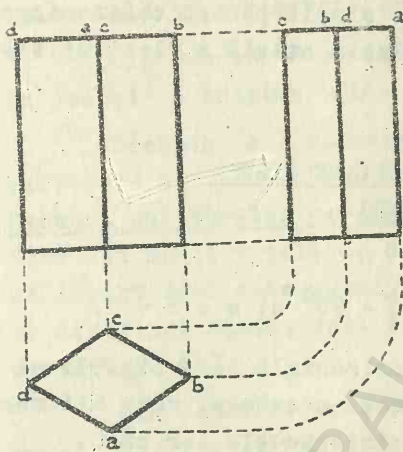


Fig. 92 a

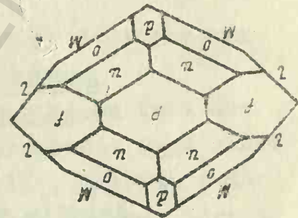


Fig. 91 b.

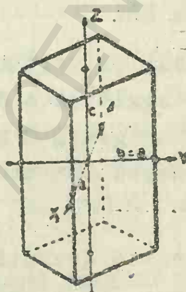


Fig. 92 b.

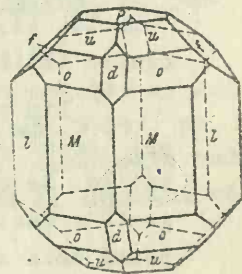


Fig. 91 c.

Infăţişarea exterioară a cristalului este însă, cel mai bine prezentată în această proiecţie.

Pentru proiecţia înclinată a cristalelor, se procedează, mai întîi, la proiecţia înclinată a axelor cristalografice, construindu-se aşa numita, cruce axială, cu înclinarea aleasă şi apoi se construieşte pe aceasta, desenul cristalului, prin muchiile sale.

Se folosesc multe înclinări date acestor proiecţii, dar cea mai răspîndită şi mai convenabilă, este cea introdusă de cristalograful Naumann, printr-o metodă de construcţie a crucii axiale destul de simplă pentru toate singoniile şi în conformitate cu relaţia axială a fiecărui sistem.

CONSTRUCTIA CRUCII AXIALE PENTRU SISTEMUL CUBIC

Relaţia axială $\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$ şi $a = b = c$.

Se desenează o linie orizontală $A\bar{A}$ (fig.93) şi altă linie perpendiculară pe mijlocul acesteia, ceva mai mare decît aceasta, $B\bar{B}$. Se notează intersecţia lor cu O.

Se împarte dreapta $\bar{A}\bar{A}$ în 6 părţi egale şi prin capetele lui $A\bar{A}$, ca şi prin a doua şi a patra diviziune a acestei linii, se duc paralele la $B\bar{B}$.

Din capătul $\bar{A}$ se ia în jos, pe verticala ce trece prin acest punct, o lungime $\bar{A}P$, egală cu o diviziune a dreptei $\bar{A}A$. Se uneşte punctul P cu originea O şi se prelungeşte această linie, pînă întîlneşte verticala care coboară prin A în punctul P'.

Segmentul $x\ \bar{x}$ de pe această dreaptă, cuprins între verticalele ce coboară prin a doua şi a patra diviziune de pe $\bar{A}A$ reprezintă în mărime şi direcţie, axa cristalografică $x\ \bar{x}$ orientată spre observator.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Din punctul x se duce spre stînga o paralelă la A $\bar{A}$, pînă întretaie prima verticală în Q. Se unește punctul Q cu O și se însemnă cu R, punctul de intersecție al dreptei QO cu verticala care coboară prin a doua diviziune.

Din punctul R se duce o paralelă la A$\bar{A}$ pînă ce aceasta intersectează verticala ce coboară prin A și notăm intersecția cu y. Ducem o dreaptă din y prin O pînă ce întîlnește verticala ce urcă prin $\bar{A}$ și însemnăm cu $\bar{y}$ intersecția acestor două drepte.

Dreapta y $\bar{y}$ reprezintă în mărime și direcție axa orizontală y$\bar{y}$, orientată paralel cu observatorul.

Din punctul O se ia pe dreapta B $\bar{B}$ o lungime O $\bar{z}$ =OP, în jos și o lungime OZ = OP, în sus.

Dreapta z $\bar{z}$ reprezintă în mărime și direcție axa verticală z $\bar{z}$.

<u>Desenul poliedrelor pe axele cristalografice</u>, se face notînd mai întîi fețele de cristal, în parametri. După aceea se împart dacă este cazul, capetele axelor, într-un număr de diviziuni egale, egal cu caracteristica cea mai mare a parametrilor.

Din punctele corespunzătoare caracteristicilor parametrilor fiecărei axe, se duc plane, a căror intersecție va reprezenta muchiile de cristal și bine-nțeles, acestea vor delimita fețele de cristal și deci cristalul, în proiecția înclinată corespunzătoare.

<u>Exemple</u>. Pentru octaedru (fig.94) cu notația a: a:a și caracteristicile egale cu 1, vom duce plane chiar pe capetele axelor x,y, și z și vom obține un desen care redă cristalul într-o imagine mult mai apropiată de aspectul său real decît în proiecția ortogonală.

Pentru trigontrioctaedru (fig.95 a și b), cu notația a:a:2a, se împart axele x,y, și z în cîte două diviziuni. Cele 3 fețe din octantul xyz se construiesc ducînd

PROIECȚIA INCLINATĂ

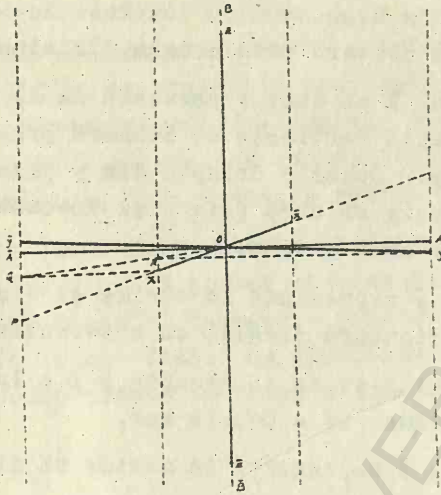


Fig. 93 a.

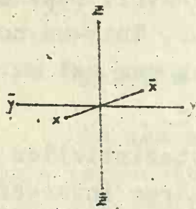


Fig. 93 b.

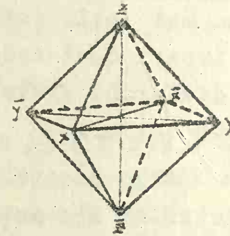


Fig. 94.

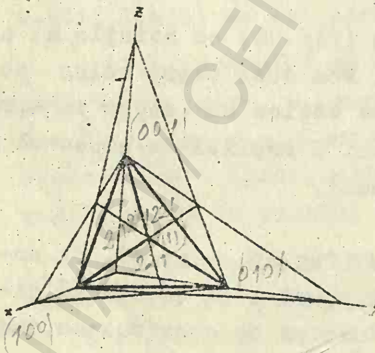


Fig. 95 a

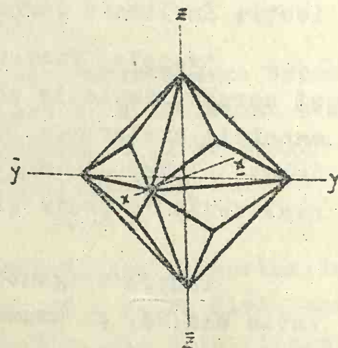


Fig. 95 b

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

planele corespunzătoare notaţiilor, prin diviziunile a:a:2a, a: 2a: a şi 2a: a: a.

Se unesc intersecţiile acestor plane cu vîrfurile opuse, situate la 2a de origine.

Aceste drepte se intersectează în L_{6m}^{3}, iar bazele triunghiurilor isoscele, construite după cele 3 notaţii sînt muchi de octaedru şi totodată, bazele triunghiurilor isoscele mici, cu vîrfurile în L_{6m}^{3}, care reprezintă feţele de trigontrioctoedru.

Unim deci capetele lor cu L_{6m}^{3} şi am desenat cele 3 feţe ale formei din octantul xyz, cu notaţiile corespunzătoare (221), (122) şi (212).

Aşa se procedează pentru fiecare octant în parte, rezultînd un desen, care, după cum se vede, redă foarte clar aspectul general al cristalului şi exprimă în acelaşi timp, raportul dintre feţele şi simetria lui.

- Pentru sistemul tetragonal se pleacă de la crucea axială a sistemului cubic şi se modifică axa $z\bar{z}$ în raport cu relaţia axială a parametrilor, a:a:c.

De obicei, în desenul demonstrativ, se ia $c > a$ (fig.96).

- Pentru sistemul rombic se pleacă de asemenea de la crucea axială a sistemului cubic, dar se modifică corespunzător atît axa $z\ \bar{z}$ cît şi axa $x\ \bar{x}$, în conformitate cu relaţia axială a parametrilor a:b:c.
Ca şi în cazul precedent, în desenul demonstrativ, se ia $a < b < c$ (fig. 97).

In sistemul monoclinic relaţia axială se deosebeşte şi în ceea ce priveşte raportul unghiular: $\alpha = \gamma = 90^{0} \neq \beta$, parametrii rămînînd în acelaşi raport ca şi la sistemul rombic, a:b:c.

Pentru acesta se pleacă de la crucea axislă a sistemului rombic şi se modifică corespunzător unghiului deplasîndu-se în jos capătul pozitiv al axei $x\bar{x}$.

Formele desenate pe aceste axe vor avea înclinarea, din faţă spre spate, paralel cu planul ce conţine pe $x\bar{x}$ şi $z\bar{z}$ (fig.98).

- <u>In sistemul triclinic</u> cu relaţia axială $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{\circ}$ şi a:b:c se pleacă de la crucea axială a sistemului monoclinic, dînd axei $y\bar{y}$ o mişcare de rotire, astfel ca şi unghiurile α şi γ să capete valoarea corespunzătoare, diferită de 90° (fig.99).

- <u>In sistemul hexagonal</u> se foloseşte mai rar sistemul de 3 axe cristalografice al lui Miller dar atunci cînd se foloseşte, se pleacă de la crucea axială a sistemului cubic, dînd axelor $x\bar{x}$ şi $z\bar{z}$ înclinarea corespunzătoare relaţiei axiale ($\alpha = \beta = \gamma \neq 90^{\circ}$; a:a:a;) pe cînd axa y, după cum s-a mai observat şi în cazurile anterioare, rămîne în aceeaşi poziţie (fig.100).

Mai frecvent se foloseşte aici sistemul de 4 axe a lui Bravais, care se construieşte pe baza relaţiei axiale, $\alpha = \beta = 90^{\circ} \neq \gamma = 120^{\circ}$ şi a:a:c, sau desvoltată, $\alpha = \beta = \delta = 90^{\circ} \neq \gamma = 120^{\circ}$ şi a:a:a:c, pentru axele x,y,u şi z (fig.101).
Aici se pleacă de la crucea axială a sistemului tetragonal, din care se păstrează neschimbate axele $y\bar{y}$ şi $z\bar{z}$; axa $x\bar{x}$ se înseamnă cu $a\bar{a}$ (fig. 102). Se măsoară această axă, iar lungimea ei se înmulţeşte cu $\sqrt{3} = 1,73$. Se prelungesc cele două braţe a şi $\bar{a}$ cu 73%, pînă în A şi $\bar{A}$. Capetele prelungite ale axei $x\bar{x}$ din sistemul tetragonal, adică A şi $\bar{A}$ se unesc cu capetele y şi $\bar{y}$ ale aceleiaşi cruci axiale.

Pe mijlocul fiecărui braţ OA şi $O\bar{A}$ se duce cîte o paralelă la $y\bar{y}$. Paralela la $y\bar{y}$ dusă pe mijlocul braţului OA, taie latura $A\bar{y}$ a rombului format, într-un punct care este capătul pozitiv al axei $x\bar{x}$ şi latura Ay a aceluiaşi romb, într-un punct care este capătul negativ al axei $u\bar{u}$. Paralela $y\bar{y}$, dusă pe mijlocul braţului $O\bar{A}$, taie latura $y\bar{A}$ într-un punct care este capătul negativ al axei $x\bar{x}$ şi latura $\bar{A}\bar{y}$ a aceluiaşi romb, într-un punct care este capătul pozitiv al axei $u\bar{u}$.

AXE CRISTALOGRAFICE

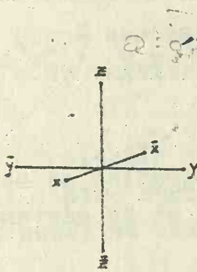


Fig. 96 a
SISTEMUL CUBIC

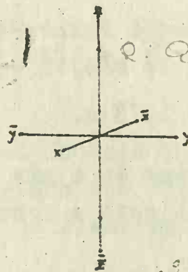


Fig. 96 b.
SISTEMUL TETRAGONAL

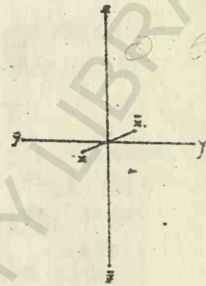


Fig. 97.
SISTEMUL ROMBIC

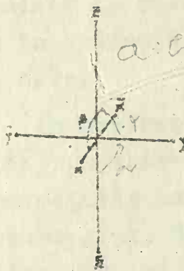


Fig. 98.
SISTEMUL MONOCLINIC



Fig. 99.
SISTEMUL TRICLINIC

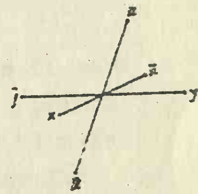


Fig. 100.
SISTEMUL TRIGONAL
AXE MILLER



Fig. 101
SISTEMUL HEXAGONAL
AXE BRAVAIS

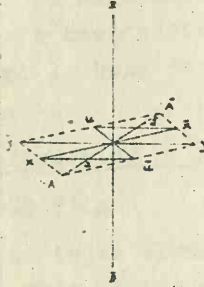


Fig. 102.
CONSTRUCȚIA AXELOR PENTRU SISTEMUL HEXAGONAL

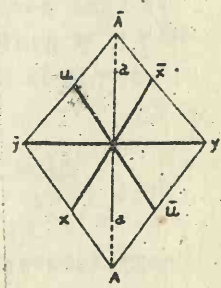


Fig. 103.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Valoarea lui A $\bar{A}$ rezultă din relația care se observă în desenul rombului și hexagonului, construite în planul orizontal, al axelor x $\bar{x}$,y $\bar{y}$ și u $\bar{u}$ (fig.103)

$$\overline{OA}^2 = \overline{Ay}^2 - \overline{Oy}^2 = (2a)^2 - a^2 = 4a^2 - a = 3a^2;$$

$$\overline{OA} = a\sqrt{3} = 1,73\ a.$$

Pe acest sistem de 4 axe cristalografice se construiește proiecția înclinată a formelor, ca și în sistemele cu 3 axe.

- <u>In sistemul trigonal</u>,cu aceași relație axială, se folosește același sistem de axe.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

5. 2. PROIECTIILE SUBSTITUANTE

După cum ştim, o importanţă deosebită în cristalografie o au unghiurile dintre feţele şi dintre muchiile de cristal.

Proiecţia perspectivă nu redă însă unghiurile dintre feţe şi dintre muchi în mărimea lor naturală decît atunci cînd acestea se proiectează pe plane paralele cu ele.

De aceea, în afară de proiecţia perspectivă paralelă cu cele două variante ale sale,în cristalografie se întrebuinţează frecvent proiecţiile substituante, în care, neglijindu-se forma exterioară a cristalului, unghiurile sînt redate în adevărata lor mărime şi în acelaşi timp, se scoate în evidenţă simetria cristalului şi raportul dintre feţele sale.

In proiecţiile substituante, o faţă poate fi substituită printr-o linie sau printr-un punct. In primul caz proiecţiile substituante se numesc proiecţii lineare; acestea nu sînt, de obicei, folosite în cristalografie. In al doilea caz, se numesc proiecţii polare;

Ca şi proiecţiile perspective paralele, acestea sînt frecvent întrebuinţate în cristalografie. Ele sînt de trei feluri: proiecţia sferică, proiecţia gnomonică şi proiecţia stereografică ecuatorială.

<u>Proiecţia sferică</u> , pe care am prezentat-o deja cu ocazia trecerii în diagrame a coordonatelor polare φ şi ς determinate goniometric, stă şi la baza celorlalte două sisteme de proiecţie substituante.

a. <u>Reprezentarea poliedrelor cristaline prin</u> PROIECŢIA STEREOGRAFICA

Acum, cînd cunoaştem toate elementele cristalografice ale poliedrelor cristaline, putem să le reprezentăm

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

integral, prin metoda streografică, expusă anterior, cu ocazia înscrierii grafice a coordonatelor determinate prin măsurători goniometrice.

Pentru aceasta, trebuie să proiectăm stereografic, mai întîi elementele de simetrie, iar după aceea, în modul cunoscut, să proiectăm fețele pe care, acum, le putem nota în indici.
Elementele de simetrie care trebuiesc proiectate sînt axele de simetrie şi planele de simetrie.
Proiecția lor se încadrează în problema generală a proiecției unor drepte şi a unor plane care intersectează sfera de proiecție

Proiecția axelor de simetrie

Pentru a o proiecta, orice dreaptă se deplasează paralel cu ea însăşi pînă cînd ajunge să treacă prin centrul sferei. După aceea se prelungeşte dreapta la fel cu normala la o față, pînă cînd înțeapă sfera într-un punct. Acesta este polul dreptei.
Acest pol, se proiectează apoi stereografic, pe cercul ecuatorial.
In cazul axelor de simetrie, proiecția polului axei se înseamnă cu semnul convențional de simetrie (O, △, □ etc.) în ambele puncte de străpungere a sferei.

Avem trei situații:

- Direcția, respectiv axa, este perpendiculară pe cercul de proiecție. Atunci, ambele capete se proiectează în acelaşi loc, în centrul cercului ecuatorial (fig.104).

- Direcția respectiv axa, este paralelă cu cercul de proiecție şi trecînd prin centru, este deci cuprinsă în acest cerc, ca un diametru al său. Cele două capete se proiectează la intersecția axei cu circumferința şi se înseamnă cu semnul convențional de simetrie, în ambele puncte, unite printr-o linie întreruptă (fig.105).

-Direcţia, respectiv axa, este înclinată faţă de planul de proiecţie. Cele două capete se prelungesc pînă înţeapă sfera, iar polii respectivi se proiectează stereografic din cele două puncte de vedere, în interiorul cercului de proiecţie, ca şi polii feţelor înclinate faţă de acest cerc. Proiecţiile polilor nu se mai unesc între ele. (fig.106). Practic proiecţiile polilor din emisfera inferioară nu se mai trec în diagramă.

De ex. în clasa primitivă a sistemului cubic cu formula de simetrie $3L^2 4L^3$ (fig.107), întîlnim toate cele trei situaţii:

- este o axă L^2 perpendiculară pe planul de proiecţie (cazul a); aceasta se proiectează în centrul cercului:

- celelalte două axe L^2 sînt paralele cu cercul de proiecţie; se proectează pe cercul de proiecţie (cazul b) ca diametre, $y\bar{y}$ şi $x\ \bar{x}$, ale cercului ecuatorial, însemnîndu-se cele două capete cu semne lenticulare, legate printr-o linie întreruptă.

- axele L^3 sînt întîlnite la 45° faţă de cercul fundamental şi se proiectează prin capetele superioare în mijlocul fiecărui cadran.

Proiecţia planelor de simetrie

Orice plan care intersectează sfera de proiecţie determină un cerc pe aceasta, aşa încît problema se reduce la proiecţia unui cerc mare, deoarece toate planele de simetrie trec prin centrul sferei.

Ca şi în cazul axelor de simetrie, avem şi aici trei situaţii:

- Planul de simetrie este paralel cu cercul ecuatorial; trecînd prin centrul sferei, el se suprapune cu aceasta. Cercul fundamental este chiar proiecţia sa (fig.108).

- Planul de simetrie este înclinat faţă de cercul de proiecţie; intersectează deci sfera după un cerc mare în-

PROIECȚIA STEREOGRAFICĂ

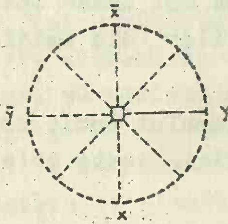


Fig. 104

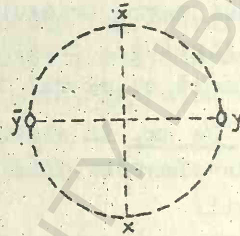


Fig. 105

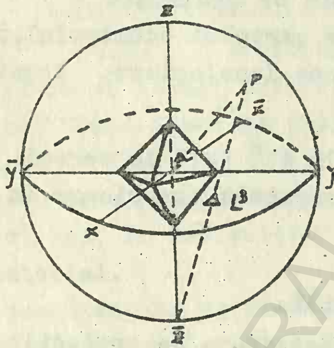


Fig. 106a

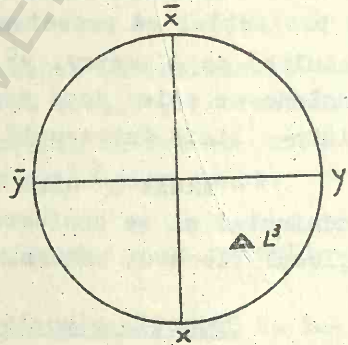


Fig. 106b.



Fig. 107.

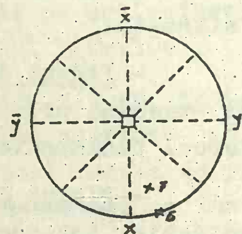


Fig. 108.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

clinat; proiecţia lui va fi un cerc cu raza mai mare de cît raza cercului de proiecţie iar centrul său va fi situat dincolo de centrul cercului de proiecţie.
Proiecţia acestui cerc mare este reprezentată numai de un arc de cerc, corespunzător semicercului mare din partea superioară a planului de proiecţie.

Arcul trece prin capetele diametrului .Inălţimea lui este dată de relaţia, $d=r\operatorname{tg}\frac{\rho}{2}$, în care ρ este distanţa polară (fig.109 a).

In cazul cînd cercul mare este înclinat de 45° faţă de cercul ecuatorial, proiecţia lui este un cerc mare cu centrul în capătul opus al diametrului perpendicular pe coarda respectivă.

Pentru proiecţia unui cerc mare înclinat faţă de cercul ecuatorial, se proiectează punctul de tangenţă al cercului cu meridianul de origine, faţă de punctul de vedere $\bar{z}$. Punctul de pe y $\bar{y}$ în care proiectanta intersectează cercul ecuatorial (b) este proiecţia lui (fig.109 b). Prin acest punct şi prin cele două capete ale diametrului care subîntinde arcul, se trasează acesta.

La cristale nu se găsesc decît plane de simetrie înclinate de 45° faţă de cercul de proiecţia şi anume, numai la sistemul cubic (plane P).

- <u>Planul de simetrie este perpendicular pe cercul de proiecţie</u>. In cazul planelor înclinate, proiecţiile lor erau cercurile cu raze mai mari decît ale cercului de proiecţie şi anume, cu atît mai mari cu cît avem o înclinare mai mare faţă de el.

La 90° se poate considera că proiecţia cercului mare, plan de simetrie, este un cerc cu raza infinit de mare; arcul de cerc va deveni un diametru al cercului de proiecţie. Ca exemplu, clasa planală a sistemului tetragonal (fig.110).

In clasa planaxială a sistemului cubic, care are

formula de simetrie $\frac{3L^4}{3\pi}$ $4L^3_{6m}$ $\frac{6L^2}{6P^2}$ C, (fig.110) va avea un plan π care coincide cu cercul ecuatorial. Planele se însemnă cu linie plină; cercul de proiecţie se va trasa în acest mod.

Celelalte două plane π sînt perpendiculare pe cercul ecuatorial; se proiectează ca diametre $y\,\bar{y}$ şi $x\,\bar{x}$, de asemenea cu linii pline.

Tot aceeaşi poziţie o au şi două plane P^2 care sînt dispuse la 45° între axele $x\,\bar{x}$ şi $y\,\bar{y}$. Se duc tot ca diametre.

Celelalte 4 plane P^2 care taie diagonal un cub (fig.111) prin muchiile superioare şi inferioare opuse, sînt înclinate la 45° faţă de cercul ecuatorial. Se proiectează ca arce de cerc ce trec la 45° între z şi capetele axelor orizontale, x şi y, aşa cum s-a arătat mai sus.

Centrul de simetrie, rezultînd chiar din construcţia proiecţiei stereografice, nu se mai proiectează.

Cercul de proiecţie şi axele cristalografice x şi y, în cazul cînd nu se suprapun cu plane sau axe de simetrie, se trasează prin linii punctate.

Cunoscînd acum proiecţia tuturor elementelor de simetrie, precum şi proiecţia feţelor vom avea pentru cubul, care face parte din clasa planaxială a sistemului şi are 6 feţe, respectiv perpendiculare pe cele 6 capete ale axelor L^4, proiecţia stereografică din fig. 112, iar pentru octaedrul care are aceeaşi simetrie, dar feţele normale la L^3_{6m} proiecţia din fig.113.

La sistemul cubic, pe proiecţia sterografică a oricărei clase se vor trece toate elementele de simetrie ale clasei plan-axiale, dar cele care, în clasa respectivă, lipsesc, se vor trasa prin linii punctate. De ex. formele din clasa axială, cu formula de simetrie $3\underline{L}^4$ $4\underline{L}^3$ $6\underline{L}^2$, se vor proiecta pe diagrama ce are însemnate cu linii punctate urmele tuturor planelor de simetrie, care aici lipsesc (fig.114).

PROIECȚIA STEREOGRAFICĂ

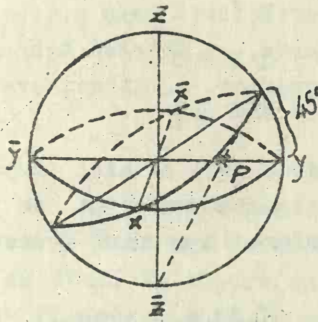


Fig. 109

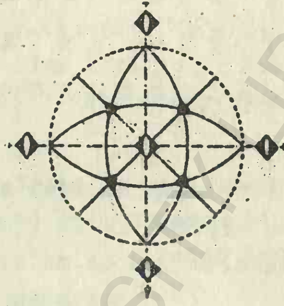


Fig. 110

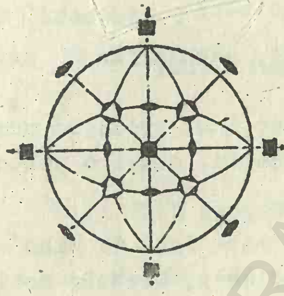


Fig. 111

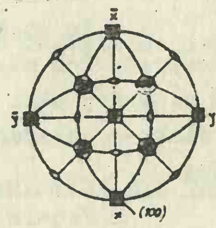


Fig. 112.

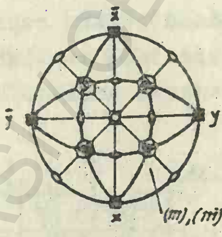


Fig. 113.

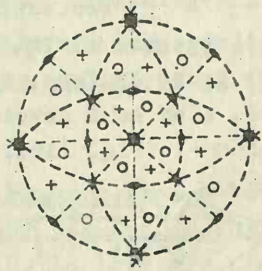


Fig. 114.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

b. Proiecţia gnomonică

Dacă polii de feţe obţinuţi prin proiecţia sferică se proiectează mai departe, pe un plan tangent la sferă în capătul axei cristalografice, z, atunci avem proiecţia gnomonică (fig.115).

In prima fază se duce deci şi aici perpendiculara la faţa de cristal, din originea axelor şi se prelungeşte aceasta pînă ce înţeapă sfera în punctul P care este polul feţei.

S-a făcut pînă aici proiecţia sferică.

După aceea, în a doua fază, se prelungeşte normala mai departe, pînă cînd înţeapă planul tangent, într-un punct p, care reprezintă proiecţia polului, respectiv proiecţia gnomonică a feţei de cristal.

In această proiecţie, unghiurile se proiectează în adevărata lor mărime.
Pe un asemenea plan tangent se pot însă proiecta numai feţele dintr-o emisferă; practic vorbid, numai o parte din acestea.

Feţele cu înclinare mare faţă de plan se proiectează din ce în ce mai departe de z, trebuie deci un desen din ce în ce mai mare. La limită, pentru feţe perpendiculare pe plan, cu normala paralelă cu planul, proiecţia se depărtează la infinit.

Proiecţia gnomonică are, din această cauză o utilizare mai restrînsă şi anume, doar pentru reprezentarea unor grupe de feţe, cu mică înclinare faţă de planul tangent, cînd nu-i nevoie decît de redarea unui aspect parţial al formei (fig. 116).

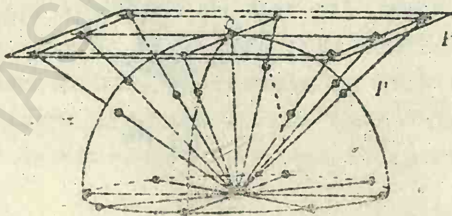


Fig. 115.

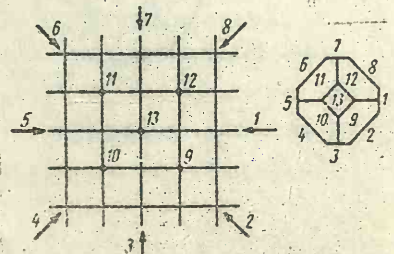


Fig. 116.

VI. POZIȚIA UNEI FEȚE DE CRISTAL IN RAPORT CU AXELE CRISTALOGRAFICE.

Am folosit pentru notarea fețelor de cristal, un sistem de trei axe de coordonate,x,y şi z. Poziția unei fețe de cristal, în raport cu acest sistem de axe cristalografice poate fi determinată în mai multe moduri:

- prin raportul dintre parametri sau indici ;
- prin stabilirea poziției normalei duse din originea axelor la fața de cristal, cu ajutorul cosinusurilor directoare.
- prin ecuația feței în funcție de indicii săi (hkl).

6.1. PRIN RAPORTUL DINTRE PARAMETRI SAU INDICI

O față este determinată în acest mod, prin însăşi notația sa prin parametri sau prin indici. Parametrii, respectiv indicii unei fețe, exprimă aşezarea feței respective în raport cu fața fundamentală şi în raport cu cele 3 axe de referință, axele cristalografice.

Față de aceste axe, o față de cristal poate avea şapte poziții determinate prin aceşti parametri şi indici (fig. 117).

1. 1 . <u>Fața taie toate cele trei axe</u>; notația sa generală în parametri va fi ma : nb: pc, iar în indici, (h k l), cum este cazul, de exemplu, la octaedru, la piramida tetragonală etc.Notația aceasta se referă direct la

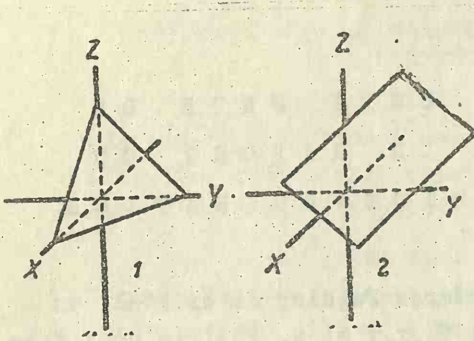


Fig. 117$_{1.2}$.

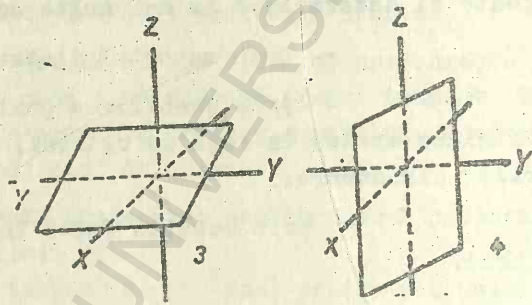


Fig. 117.3.4.

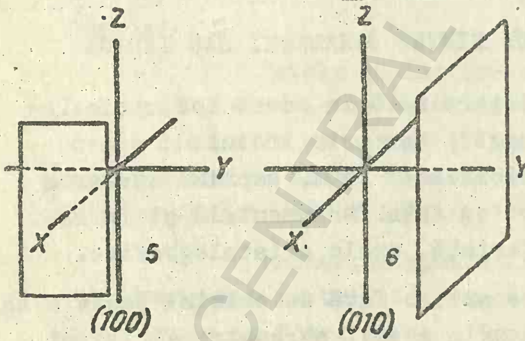


Fig. 117$_{5.6}$.

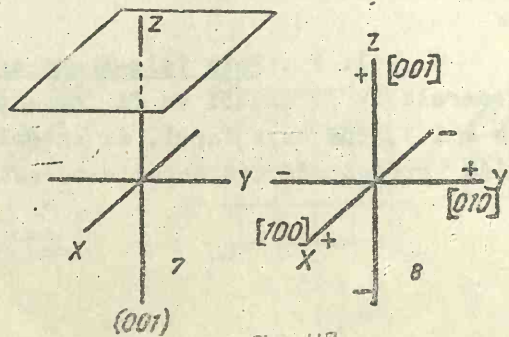


Fig. 117$_{7.8}$.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

cazul general, cînd fața taie cele 3 axe la distanțe diferite, cum ar fi o față a :2b:3c sau (6 3 2).

Pentru această poziție, sînt însă și două cazuri particulare :

- cînd fața taie 2 axe la aceeași distanță, iar pe a treia la distanță diferită, de ex. fața a:b:2c sau (221) și

- cînd fața taie toate cele 3 axe la aceeași distanță, cum este cazul fețelor fundamentale, de ex. fața a:b:c sau(111) (caracteristicile egale și indicii egali se reduc la 1).

(2,3,4). Fața este paralelă cu una din axe și taie celelalte două axe, de ex. x și y în cazul prismei rombice, unde fața care intersectează axele x și y este paralelă cu z și se notează, în general, în parametri cu ma:nb: ∞c ,iar în indici cu (hko).

Și aici avem un caz particular : atunci cînd fața taie 2 axe la aceeași distanță și este paralelă cu a 3-a, de ex. fața∞a:b:c sau (011), prin reducerea la unitate, ca și în cazul precedent.

(5,6,7) Fața este paralelă cu două axe și o taie pe a treia, cum este cazul la cub sau la o prismă tetragonală cu fețele perpendiculare pe axele x,y sau z, unde avem, în general, notația feței care taie perpendicular axa x, în parametri, ma:∞b:∞c , iar în indici(hoo) și reducînd la unitate (100). In mod asemănător, fața care taie axa y va fi notată cu ∞a :nb ∞c sau (010) și cea care taie axa z, cu ∞a:∞b : c sau (001).

6.2. DETERMINAREA POZITIEI UNEI FETE CU AJUTORUL COSINUSURILOR DIRECTOARE

Aceasta se bazează pe legea constanței unghiurilor: unghiurile pe care le face normala la față cu cele 3 axe, sînt constante pentru toate fețele care au aceeași orientare și care sînt deci paralele între ele.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Aceste unghiuri se numesc unghiuri directoare, iar cosinusurile lor se numesc cosinusuri directoare. Acestea definesc poziţia feţei.

Intre cosinusurile directoare şi parametrii, respectiv indicii feţei de cristal, sînt relaţii care dau posibilitatea să se determine notaţia feţelor pe baza măsurătorilor de unghiuri.

Să luăm o faţă care intersectează cele 3 axe în H,K,L (fig.118) şi să ducem, din originea axelor O, normala la această faţă pe care o intersectează în punctul P.

Intre normala $\overline{OP}$ şi cele 3 axe, se formează 3 triunghiuri dreptunghice: $\widehat{HOP}$, $\widehat{KOP}$ şi $\widehat{LOP}$. Unghiurile pe care le face normala cu cele 3 axe, $\widehat{HOP}=Px$, $\widehat{KOP}=Py$ şi $\widehat{LOP}=Py$, sînt unghiurile directoare; ele determină poziţia feţei de cristal.

Considerînd acum triunghiul HOP (fig.119) în care unghiul HOP a fost însemnat cu Px, avem: $\overline{OP}=\overline{OH}\cos Px$ şi la fel în celelalte două triunghiuri, $\overline{OP}=\overline{OK}\cos Py$ şi $\overline{OP}=\overline{OL}\cos Pz$, adică normala la faţa de cristal, $\overline{OP}=\overline{OH}\cos Px=\overline{OK}\cos Py=\overline{OL}\cos Pz$.

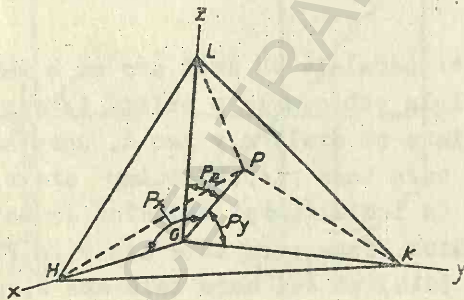


Fig. 118.

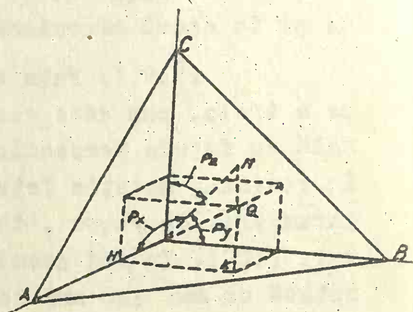


Fig. 120.

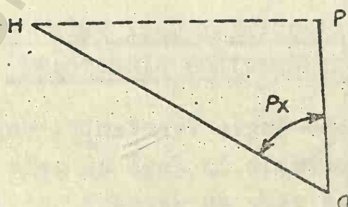


Fig. 119.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

$\overline{OH}$, $\overline{OK}$ şi $\overline{OL}$ nu sînt altceva decît parametrii a_1, b_1, c_1 ai feţei HKL, în care: $a_1 = ma, b_1 = nb$ şi $c_1 = pc$.

Putem scri: $OP = a_1 \cos Px = b_1 \cos Py = c_1 \cos Pz$.

Făcînd raportul dintre termenii acestei relaţii din care rezultă: $\cos Px = \frac{OP}{a_1}$, $\cos Py = \frac{OP}{b_1}$ şi $\cos Pz = \frac{OP}{c_1}$ avem:

$$\cos Px : \cos Py : \cos Pz = \frac{\overline{OP}}{a_1} : \frac{\overline{OP}}{b_1} : \frac{\overline{OP}}{c_1} = \frac{1}{a_1} : \frac{1}{b_1} : \frac{1}{c_1}$$

Deci, cosinusurile directoare sînt invers proporţionale cu parametrii feţei.

Parametrii feţei sînt multipli ai parametrilor fundamentali şi deci vom avea: $\overline{OH} = a_1 = ma = \frac{1}{h}a = \frac{a}{h}$

$$\overline{OK} = b_1 = nb = \frac{1}{k}b = \frac{b}{k}$$

$$\overline{OL} = c_1 = pc = \frac{1}{l}c = \frac{c}{l},$$ de unde:

$\frac{a}{h} \cos Px = \frac{b}{k} \cos Py = \frac{c}{l} \cos Pz$, care este <u>relaţia fundamentală de calcul cristalografic</u>.

Pentru sistemul cubic, în care $a=b=c$, relaţia fundamentală se simplifică şi mai mult: $\frac{1}{h} \cos Px = \frac{1}{k} \cos Py = \frac{1}{l} \cos Pz$.

De aici se pot scoate rapoartele :

$$\frac{h}{k} = \frac{\cos Px}{\cos Py} \text{ şi } \frac{l}{k} = \frac{\cos Pz}{\cos Py} \text{ sau } h = k\frac{\cos Px}{\cos Py} \text{ şi } l = k\frac{\cos Pz}{\cos Py}$$

Rapoartele cosinusurilor sînt numere întregi şi mici. Se dă o asemenea valoare de obicei 1, lui k şi se determină indicii h şi l pe baza acestor relaţii.

Aşa se determină raportul dintre indici, adică notaţia feţei, prin măsurători de unghiuri.

BCU IAŞI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

6.3. DETERMINAREA POZIȚIEI FEȚEI DE CRISTAL PRIN ECUAȚIA SA IN FUNCȚIE DE INDICI

Se consideră o față ABC care taie axele la distanțele OA=a, OB=b, OC=c (fig.120).

Ecuația unui plan se poate scrie sub forma: $A_1x + B_1y + C_1z = K$, în care x,y și z reprezintă coordonatele unui punct oarecare din planul considerat, A_1, B_1 și C_1 sînt constantele feței, iar K, o altă constantă a cărei valoare depinde de distanța planului, feței, de la originea sistemului de coordonate.

Coordonatele intersecției feței fundamentale cu axa x, vor fi x = a, y = o și z = o

Dacă le introducem în ecuația feței rezultă: $A_1 = \frac{K}{a}$. In același mod se obțin $B_1 = \frac{K}{b}$ și $C_1 = \frac{K}{c}$ de unde se vede că valorile A_1, B_1, C_1 sînt invers proporționale cu parametrii corespunzători, iar ecuația feței devine: $\frac{K}{a}x + \frac{K}{b}y + \frac{K}{c}z = K$ sau $\frac{1}{a}x + \frac{1}{b}y + \frac{1}{c}z = 1$

Pentru fața HKL, generală, $A_1x + B_1y + C_1z = K$ devine

$\frac{K}{a_1}x + \frac{K}{b_1}y + \frac{K}{c_1}z = K$ sau $\frac{1}{a_1}x + \frac{1}{b_1}y + \frac{1}{c_1}z = 1$ și exprimat în parametri fundamentali, cu $a_1 = ma$; $b_1 = nb$ și $c_1 = pc$, ecuația feței HKL este $\frac{1}{ma}x + \frac{1}{nb}y + \frac{1}{pc}z = 1$ sau înlocuind caracteristicile prin indici, rezultă:

$$\frac{h}{a}x + \frac{k}{b}y + \frac{l}{c}z = 1.$$

Aceasta este ecuația feței în funcție de indici și parametri fundamentali, care determină poziția unei fețe de cristal.

Dacă se iau însă ca unități de măsură pe cele trei fețe parametrii fundamentali, ecuația feței devine $hx + ky + lz = 1$, iar dacă fața este deplasată ca să treacă prin origine, ceea ce în cristalografie este totdeauna permis, ecuația feței devine : $hx + ky + lz = o$.

2.
CRISTALOGRAFIA GEOMETRICA

A. FORMELE POLIEDRICE ALE CRISTALELOR

VII. Z O N E D E F E Ţ E. L E G E A Z O N E L O R.

La multe cristale se observă că au serii de feţe care sînt paralele cu o anumită direcţiune şi care se intersectează de obicei după muchii paralele între ele şi paralele cu direcţiunea respectivă.

Se spune că aceste feţe constituie o zonă de feţe, iar direcţia cu care sînt paralele este o axă de zonă.

Feţele dintr-o aceeaşi zonă sînt numite feţe tautozonale sau cozonale.

Adesea, la o formă sînt mai multe zone de feţe. Aşa de ex., la un cristal în formă de prismă tetragonală (fig. 121), cele 4 feţe laterale sînt paralele şi au muchiile paralele cu axa L^4 ; ele constituie o zonă de feţe, iar axa L^4 este, în acest caz, axă de zonă. Faţa anterioară (100), faţa superioară (001), faţa posterioară ($\bar{1}00$) şi faţa inferioară, de bază, ($00\bar{1}$), constituie deasemenea o zonă, a cărei axă este însă axa L^2, aleasă ca axă y $\bar{y}$.

Deasemenea, cealăltă pereche de feţe laterale, împreună cu feţele de bază, formează o zonă care are ca axă axa L^2, x $\bar{x}$, întrucît toate aceste feţe: (010), (001), ($0\bar{1}0$), ($00\bar{1}$), sînt paralele cu această direcţie.

In cazul unui cristal de cuarţ cu feţele de prismă şi de bipiramidă hexagonală (fig.122 a,b) feţele prismei hexagonale sînt paralele cu axa L^6; formează o zonă de feţe cu axa de zonă z $\bar{z}$ (L^6).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Faţa lateral anterioară $(10\bar{1}0)$, cu faţa posterioară $(\bar{1}010)$, şi cu feţele de bipiramidă adiacente, $(10\bar{1}1)$, $(\bar{1}011)$, $(\bar{1}01\bar{1})$, $(10\bar{1}\bar{1})$, formează o zonă care are ca axă direcţia $y\,\bar{y}$ (în cazul de faţă, axă L^2).

Tot astfel constituie o zonă, feţele paralele cu $x\,\bar{x}$ $(01\bar{1}0)$, $(01\bar{1}1)$, $(0\bar{1}11)$, $(0\bar{1}10)$, $(0\bar{1}1\bar{1})$, $(01\bar{1}\bar{1})$ şi altă zonă în care feţele sînt paralele cu $u\,\bar{u}$, $(\bar{1}100)$, $(\bar{1}101)$, $(1\bar{1}00)$, $(1\bar{1}0\bar{1})$, $(\bar{1}10\bar{1})$, $(1\bar{1}01)$ acestea fiind axele lor de zonă.

Nu este însă nevoie ca axele de zonă să fie în acelaşi timp şi axe de simetrie, dar ele sînt muchii posibile de cristal.

In cazul romboedrului, de ex. (fig. 123), axele lui Miller, care unesc mijlocul perechilor de feţe opuse ce se notează ca feţele de cub, sînt axe de zonă, fără a fi în acelaşi timp şi axe de simetrie. Se deosebesc aici 3 zone de feţe:

- zona cu feţele (100), (001), $(\bar{1}00)$ şi $(00\bar{1})$ care are ca axă de zonă axa $y\,\bar{y}$;
- zona cu feţele (010), (001), $(0\bar{1}0)$ şi $(00\bar{1})$, care are axa de zonă $x\,\bar{x}$;
- zona cu feţele (100), (010), $(\bar{1}00)$, $(0\bar{1}0)$, care are axa de zonă $z\,\bar{z}$.

La un tetraedru (fig.124), fiecare muchie constituie o axă de zonă care cuprinde două feţe. De ex. muchia superioară este axa de zonă pentru feţele (111) şi $(\bar{1}1\bar{1})$; ş.a.m.d. Dacă se duc plane care taie două feţe tantozonale paralel cu muchia lor de intersecţie, rezultă feţe care se găsesc în aceeaşi zonă.

In fapt axele sînt deplasate paralel pînă cînd trec prin mijlocul cristalului.

O zonă poate fi formată deci din două sau mai multe feţe paralele cu o direcţie (muchie reală sau posibilă de cristal) care este axa de zonă.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Dacă la prisma tetragonală (fig. 125) se consideră o serie de fețe care taie prisma paralel cu muchiile laterale, aceste fețe vor face parte ca și fețele prismei inițiale, din aceeași zonă cu axa z $\bar{z}$. Am putea duce astfel o infinitate de fețe paralele cu z $\bar{z}$, care să facă parte din aceeași zonă, să fie tautozonale.

Tot așa se întîmplă în cazul creșterii unui cristal de alaun de crom. Toate fețele virtuale care se formează la început fac parte din aceași zonă cu fețele finale (100) și (110), fig.125 b).

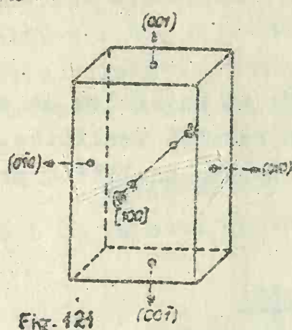


Fig. 121

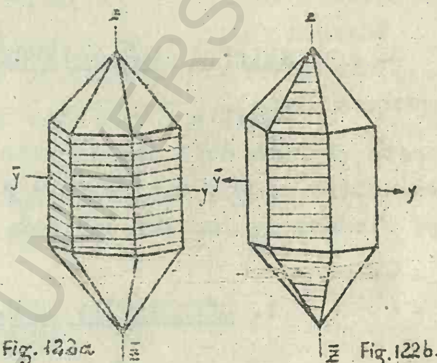


Fig. 122a. Fig. 122b.

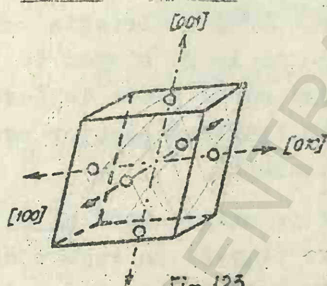
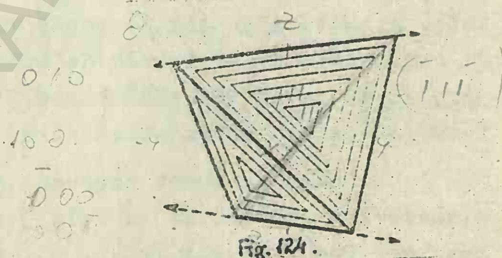


Fig. 123.


Fig. 124.

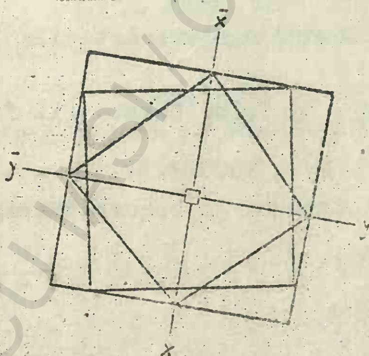


Fig. 125a.

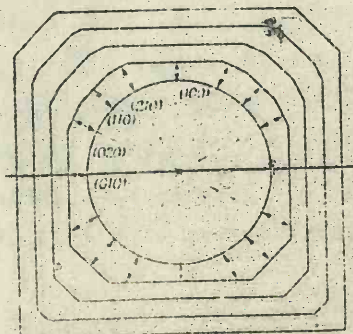


Fig. 125b.

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

La cristalele reale nu pot însă apărea toate fețele ce pot fi deduse în acest mod. Fețele cu înclinarea mare, în raport cu forma primitivă considerată, au indici mari, nu satisfac legea lui Haüy și deci nu sînt posibile ca fețele de cristal.

Toate fețele posibile ale unui cristal sînt plane ale căror indici sînt numere întregi și mici și sînt între ele în relații zonale.

Aceasta este legea zonelor, care în fapt nu reprezintă decît o altă expresie a legii lui Haüy.

RELAȚII ZONALE INTRE FEȚE

Poziția unei fețe în raport cu un sistem de axe se poate exprima după cum am văzut, prin relații analitice. Și relațiile zonale dintre fețe se pot exprima analitic, precum și elementele zonelor de fețe.

1. SIMBOLURILE AXELOR DE ZONĂ

O zonă este definită dacă se cunoaște direcția axei sale. Această direcție se poate raporta la un sistem de 3 axe de coordonate ca și fețele de cristal și se poate deplasa paralel cu ea însăși pînă trece prin originea acestor axe, fără ca poziția sa relativă să se schimbe.

Luînd un punct oarecare de pe axa de zonă și determinîndu-i coordonatele pe cele 3 axe (x,y,z) în raport cu parametrii fundamentali (a, b, c), vom avea pentru punctul considerat: $\frac{x}{ma} : \frac{y}{nb} : \frac{z}{pc}$ sau, înlocuind caracteristicile prin indici, relația : $\frac{hx}{a} : \frac{ky}{b} : \frac{lz}{c}$ și luînd parametrii fundamentali ca unități de măsură, $hx : ky : lz$.

Acestea se transformă totdeauna în numere întregi și se iau: $hx = u$, $kx = v$ și $lz = w$.

Aceştia sînt indicii axei de zonă, iar simbolul axei de zonă se scrie sub forma generală [u v w], cu indicii axei de zonă puşi între paranteze drepte.

Luînd de ex. axa de zonă x $\bar{x}$ a cubului (fig. 126) vom avea relaţia $\frac{hx}{a}$: $\frac{ky}{b}$: $\frac{lz}{c}$. Considerînd punctul de intersecţie al axei cu faţa anterioară (h=1, k=0, l=0) relaţia devine $\frac{x}{a} : \frac{0}{b} : \frac{0}{c} = \frac{x}{a} : 0 : 0$.

Parametrii fundamentali fiind luaţi ca unităţi de măsură, rezultă x : 0 : 0 şi împărţind cu x (ceea ce nu schimbă poziţia relativă a elementului cristalografic considerat), vom avea 1: 0 : 0 sau [100] , simbolul axei de zonă respective.

Axa de zonă y $\bar{y}$ va avea simbolul [010] , iar axa de zonă z $\bar{z}$, va avea simbolul [001].

2. ECUAŢIA AXEI DE ZONĂ.

O dreaptă care trece prin două puncte, M_1 $(x_1 y_1 z_1)$ şi M_2 $(x_2 y_2 z_2)$, (fig.127) are ecuaţia,

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} = K$$

In cazul unei drepte care trece prin origine, relaţia se simplifică (fig. 128).

Considerînd unul din cele două puncte (M_1) în origine, deci cu coordonatele (0,0,0) iar pe al doilea (M_2) ca un punct oarecare cu coordonatele u,v,w, relaţia de mai sus devine:

$$\frac{x - 0}{u - 0} = \frac{y - 0}{v - 0} = \frac{z - 0}{w - 0} \text{ sau } \frac{x}{u} = \frac{y}{v} = \frac{z}{w} = K$$

AXA DE ZONĂ

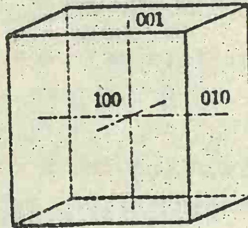


Fig. 126

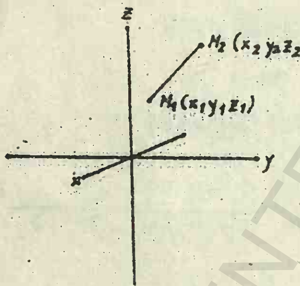


Fig. 127.

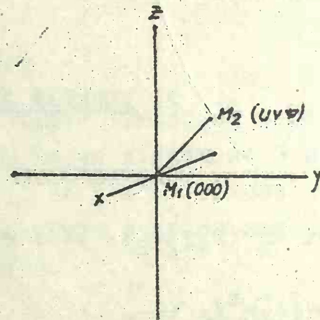


Fig. 128.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

O dreaptă care trece prin origine este deci determinată prin proiecţiile u, v , w ale unui singur punct de pe ea.

Acesta este şi cazul axei de zonă, în ecuaţia de mai sus, u,v,w fiind indicii axei, iar x,y şi z coordonatele unui punct oarecare al ei.

3. RELATIILE DINTRE O FAŢA SI AXA ZONEI DIN CARE FACE PARTE. ECUAŢIA ZONELOR

Relaţiile dintre feţele unei zone, între ele şi în raport cu axa lor de zonă, sînt date de formule matematice (ecuaţii), cu ajutorul cărora se pot calcula indicii tuturor feţelor în zonă, sau invers, plecînd de la indicii unor feţe tautazonale se pot calcula indicii zonei din care fac parte.

- Pentru a putea stabili relaţia dintre o faţă şi axa zonei, deplasăm, atît faţa, cît şi axa, paralel cu poziţiile lor iniţiale, pînă trec prin originea axelor de coordonate. Cele două elemente fiind, prin definiţie, paralele, se suprapun. Dreapta [u v w] va fi situată în planul (h k l).

Ecuaţia dreptei care trece prin origine am văzut că este, $\frac{x}{u} = \frac{y}{v} = \frac{z}{w} = K$, iar ecuaţia feţei care trece prin origine, $hx_1 + ky_1 + l z_1 = K$. Dreapta care este cuprinsă în plan trebuie să aibă astfel de coordonate care să satisfacă ecuaţia planului.

Pentru aceasta, scoatem din ecuaţia dreptei, valorile x,y,z şi le introducem în ecuaţia planului. Vom avea:

$$x = uK \text{ , } y = v K \text{ şi } z = wK \text{ şi deci}$$

$$hx + ky + lz = uKh + vKk + w Kl = 0$$

$$\text{sau } uh + vk + wl = 0$$

Această ecuaţie leagă faţa (hkl) de o axă de zonă [u v w] şi poartă denumirea de ecuaţia zonelor.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4. APLICAŢII ALE ECUAŢIEI ZONELOR

Cu ajutorul acestei ecuaţii se mai pot stabili şi alte relaţii între feţele în zonă:

4. 1. Condiţia ca o faţă cu indicii (h,k,l) să facă parte din zona determinată de alte două feţe ai căror indici sînt: $(h_2\ k_2\ l_2)$ şi $(h_3\ k_3\ l_3)$.

Dacă aceste trei feţe sînt tautozonale, vom putea deplasa una din feţe, paralel cu ea însăşi pînă cînd va trece prin intersecţia celorlalte două. Această intersecţie devine deci o dreaptă comună, cuprinsă în toate cele trei feţe.

Fie un punct de pe această intersecţie, ale cărui coordonate sînt x,y şi z. Aceste coordonate vor trebui să satisfacă ecuaţiile tuturor celor trei feţe, astfel că vom putea scrie:

$$h_1 x + k_1 y + l_1 z = 0$$
$$h_2 x + k_2 y + l_2 z = 0$$
$$h_3 x + k_3 y + l_3 z = 0$$

Condiţia necesară şi suficientă pentru ca aceste coordonate să satisfacă ecuaţiile celor trei feţe, este ca determinantul coeficienţilor să fie nul:

$$\Delta = \begin{vmatrix} h_1 & k_1 & l_1 \\ h_2 & k_2 & l_2 \\ h_3 & k_3 & l_3 \end{vmatrix} = 0$$

deci: $h_1(k_2 l_3 - l_2 k_3) - k_1(h_2 l_3 - l_2 h_3) + l_1(h_2 k_3 - k_2 h_3) = 0$

Dacă luăm termenii din paranteze, respectiv,

$$k_2 l_3 - l_2 k_3 = u$$

$$h_2 l_3 - l_2 h_3 = - v$$

$$h_2 k_3 - k_2 h_3 = w$$

relaţia de mai sus devine, $h_1u + k_1v + l_1w = 0$, ecuaţie care exprimă condiţia ca faţa $(h_1\ k_1\ l_1)$ să fie tautozonală cu feţele $(h_2k_2l_2)$ şi $(h_3k_3l_3)$.

Notă Pleoînd de la acest calcul s-a imaginat un procedeu mnemonic de a calcula repede indici de zonă din indicii a două feţe, astfel:

Din ecuaţiile celor două feţe tautozonale:

$$h_1u + k_1v + l_1w = 0$$

$$h_2u + k_2v + l_2w = 0$$

se scot şi se scriu repetat indicii fiecărei feţe

$$\begin{array}{c|cccc|c} h_1 & k_1 & l_1 & h_1 & k_1 & l_1 \\ & \times & \times & \times & & \\ h_2 & k_2 & l_2 & h_2 & k_2 & l_2 \end{array}$$

Se desparte prima şi ultima coloană, se înmulţesc termenii dintre linii şi se scot produsele obţinute la înmulţirea din dreapta sus spre stînga jos, din cele obţinute prin înmulţirile efectuate de la stînga sus la dreapta jos.

Rezultă indicii de zonă

$$k_1l_2 - k_2l_1 = u$$

$$l_1h_2 - h_1l_2 = v$$

$$h_1k_2 - k_1h_2 = w$$

De ex. axa de zonă dintre feţele de cub (010) şi (001) :

$$\begin{array}{c|cccc|c} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & & \times & \times & \times & \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ & & u & v & w & \end{array}$$

şi vom avea : $u = (1 \times 1) - (0 \times 0) = 1$

$v = (0 \times 0) - (0 \times 1) = 0$

$w = (0 \times 0) - (1 \times 0) = 0$

simbolul axei va fi $[100]$.

La axa de zonă dintre feţele de octaedru, (111) şi $(1\bar{1}1)$ vom avea:

$$\begin{array}{c|cccc|c} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & \times & \times & \times & \\ 1 & \bar{1} & 1 & 1 & \bar{1} & 1 \\ & & u & v & w & \end{array}$$

pentru $u = (1 \times 1) - (1 \times \bar{1}) = 2$

" $v = (1 \times 1) - (1 \times 1) = 0$

" $w = (1 \times \bar{1}) - (1 \times 1) = \bar{2}$

Simbolul axei de zonă va fi: $[20\bar{2}]$ sau $[10\bar{1}]$. Axa se află în planul xoz la 45° între ox şi oz.

4.2. Se determină o faţă (h k l) care satisface două zone:

$[u_1v_1w_1]$ şi $[u_2v_2w_2]$.

Plecînd de la ecuaţiile:

$hu_1 + kv_1 + lw_1 = 0$

$hu_2 + kv_2 + lw_2 = 0$

se rezolvă problema cu ajutorul indicilor de zonă:

$$\begin{array}{c|cccc|c} u_1 & v_1 & w_1 & u_1 & v_1 & w_1 \\ & & \times & \times & \times & \\ u_2 & v_2 & w_2 & u_2 & v_2 & w_2 \\ & & h & k & l & \end{array}$$

$h = v_1w_2 - w_1v_2$

$k = w_1u_2 - u_1w_2$

$l = u_1v_2 - v_1u_2$

De exemplu faţa care satisface zonele $[100]$ şi $[101]$ se află din :

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

```
1 | 0 1 0 | 0      de unde : h = ( 0 x Ī ) - ( 0 x 0 ) = 0
  |  X X X |
1 | 0 Ī 1 0 | Ī                k = ( 0 x 1 ) - ( 1 x Ī ) = Ī
    h k l
                                l = (1 x 0) - ( 0 x 1 ) = 0
```

Fața (h k l) este fața (010). Fața de cub din dreapta satisface cele două zone.

4.3. Determinarea fețelor posibile la un cristal.

- Cunoscînd indicii a două fețe dintr-o zonă [u v w] se pot calcula indicii tuturor fețelor cuprinse în această zonă, aducînd pe rînd ecuațiile fețelor.

Astfel adunînd indicii fețelor $(h_1k_1l_1)$ și $(h_2k_2l_2)$,

$$h_1u + k_1v + l_1w = 0$$

$$h_2u + k_2v + l_2w = 0,$$ rezultă ecuația:

$(h_1 + h_2)u + (k_1 + k_2) v + (l_1 + l_2) w = 0$ a unei a treia fețe, $(h_1 + h_2; k_1 + k_2; l_1 + l_2)$ din această zonă [uvw].

In modul acesta, dintr-un poliedru cu minimum de fețe și cu cei mai simpli indici, un tetraedru dreptunghic cu fețele: (100), (010),(001) și (111) se pot deduce toate fețele posibile ale unui cristal (fig.129) prin adunări succesive de indici (130).

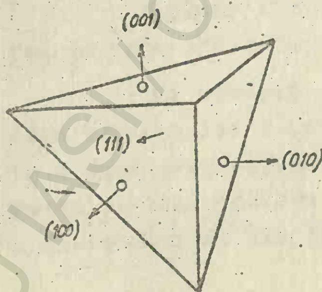


Fig. 129.

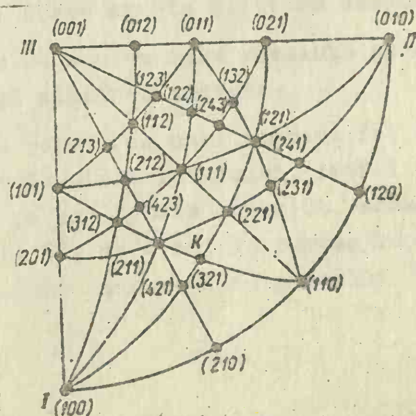


Fig. 130

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

(001) + (010) = (011); (100) + (010) = (110) ;(001) + (100) = (101);(100) + (011) = (111); (100) + (111) = (211); (100) + (110) = (210) etc.

Vedem că din (101) + (010) = (111), ca şi din suma (001) + (110) = (111), obţinem tot faţa de octaderu.

Faţa (111) se găseşte în trei zone:

Putem merge astfel la infinit, de ex. (100) + (210)= = 310); (100) + (310) = (410) etc., dar pe baza legii lui Haüy, feţele cu indici prea mari nu mai sînt posibile la cristalele reale.

Obţinerea feţelor posibile la un cristal, pe această cale, a fost numită de cristalograful Goldschmidt, regula de complicare şi se exprimă astfel :

Totalitatea feţelor posibile la un cristal se obţine prin complicare, din indicii unui tetraedru elementar (dreptunghic)

Remarcă. Feţele care fac parte din aceeaşi zonă se proiectează stereografic pe acelaşi cerc mare. Ex., feţele:

(100), (111), (011) etc. fac parte din zona $[0\bar{1}1]$;
(001), (110), (111) etc. " " " " $[\bar{1}10]$;
(100), (110), (210),(310),(410) etc." " $[001]$.

2.

CRISTALOGRAFIA GEOMETRICA

A.FORMELE POLIEDRICE ALE CRISTALELOR.

VIII. FORME SIMPLE- FORME COMPUSE.

După cum am văzut, cea mai evidentă caracteristică a cristalelor este aceea că, în foarte multe cazuri, ele se prezintă în forme poliedrice.
Poliedrele cristaline care s-au putut dezvolta liber, au forme regulate şi se caracterizează prin felul, forma şi numărul feţelor care le delimitează.

Nu totdeauna se întîlnesc asemenea forme ideale; de foarte multe ori, din cauza condiţiilor nefavorabile de creştere, cristalele se prezintă în forme neregulate, cu feţele analoge dezvoltate diferit, uneori cu contur diferit şi adesea, situate la distanţe diferite faţă de centru. Potrivit legii constanţei unghiurilor, în proiecţia sterografică, polii acestor deformaţiuni cristaline se vor proiecta însă în aceeaşi poziţie cu cei ai formelor ideale.

Noi ne vom ocupa, în cele ce urmează, de formele ideale de cristale, deformaţiunile cristaline comportîndu-se în mod asemănător şi supunîndu-se aceloraşi legi.

Formele poliedrice ale cristalelor pot fi împărţite în două categorii : forme simple şi forme compuse.

Formele simple sînt acelea care prezintă un singur fel de feţe echivalente şi simetric aşezate.

Ele rezultă prin repetarea unei anumite feţe, conform elementelor de simetrie ale cristalului. Astfel,dacă se ia o faţă perpendiculară pe axa L_6^3 din clasa Oh, această faţă se va repeta, conform axei L^4, de 4 ori în partea superioară a sistemului de axe (fig.131) iar conform planului π ,ori-

zontal, toate aceste feţe se vor oglindi în partea inferioară a sistemului de axe.
Toate feţele vor fi triunghiulare, perpendiculare pe axele L_6^3 ; va rezulta o formă simplă cu opt feţe, adică un octaedru (fig. 132).

Dacă în aceeaşi clasă, Oh, se ia o faţă perpendiculară pe axa L^4, aceasta se va repeta conform aceloraşi axe, de 6 ori şi va rezulta hexaedrul sau cubul (fig.133). Atît feţele de cub, cît şi cele de octaedru închid spaţiul de jur împrejur; se spune că sînt forme închise.

La un cristal în formă de prismă tetragonală cu simetria D_{4h}, se observă însă două feluri de feţe; două feţe patrate şi patru feţe dreptunghiulare (fig. 134). Dacă luăm o faţă paralelă cu axa L^4 şi perpendiculară pe axa L^2, $x \bar{x}$, această faţă se va repeta, conform axei L^4, de 4 ori în jurul acesteia. Nici unul din celelalte elemente de simetrie nu mai repetă faţa în altă poziţie.

Rezultă o formă simplă deschisă cu 4 feţe.

Feţele de bază au altă poziţie în raport cu elementele de simetrie. Dacă se ia o faţă perpendiculară pe axa L^4, în partea superioară acesta se va repeta conform planului π şi în partea inferioară;altă repetare a ei nu mai este posibilă pe baza elementelor de simetrie existente.

Rezultă tot o formă simplă deschisă, dar cu 2 feţe, care închide cristalul, formînd cele două baze ale prismei.

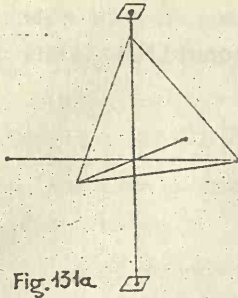
Cristalul prezintă deci o formă compusă, care este constituită din 2 forme simple. Formele simple pot fi aşa dar, forme închise, cum a fost cubul sau octaedrul, care delimitează complet un spaţiu şi forme deschise, care nu delimitează spaţiul complet . Cristalele nu pot avea însă decît forme închise; fie simple, fie compuse.

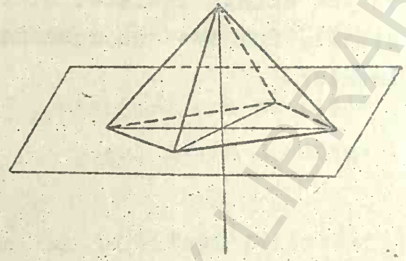
Cristalele prezintă mai rar forme simple; cel mai frecvent ele prezintă forme compuse din 2 sau mai multe forme simple. Formele simple deschise, bine-înţeles că nici

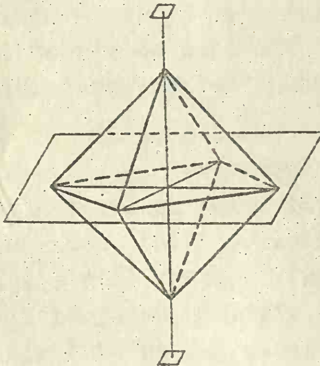
BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

nu pot exista izolate; sînt totdeauna asociale cu alte forme simple, închise sau deschise, pentru a constitui forme compuse, închise.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY


Fig. 131a


Fig. 131b.


Fig. 132a

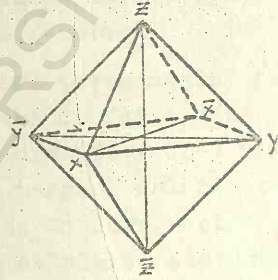


Fig. 132b.

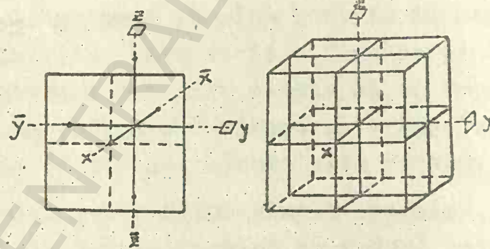
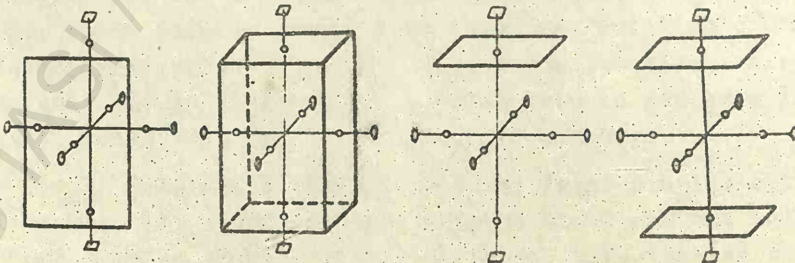


Fig. 133


Fig. 134.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1. FORME SIMPLE POSIBILE LA CRISTALE

După cum există un număr limitat de elemente de simetrie, care se pot asocia după legile cristalografice, într-un număr determinat de moduri, constituind cel 32 de clase de simetrie, tot aşa şi numărul formelor simple de cristal este limitat.

Aceasta, pe de-o parte, din cauza numărului limitat al poziţiilor pe care le poate avea faţa generatoare, iar pe de altă parte, din cauza legilor de simetrie, după care se repetă această faţă.

In denumirea formelor simple de cristale, cel mai simplu şi raţional sistem este acela care ţine seama de forma şi numărul feţelor, de forma primitivă sau fundamentală înrudită şi de simetrie.
Acesta este de ex. cazul trigontrioctaedrului din clasa Oh, cu feţe trigonale, grupate cîte trei, pe faţa de octaedru (fig. 135).

Tot astfel este cazul formei cu acelaşi număr de 3 feţe pe fiecare faţă de octaedru, dar de formă tetragonală, tetragontrioctaedru (fig. 136).

Fiecare denumire trebuie să conţină numai elementele esenţiale, care o definesc.
In cazul formei cu grupe de cîte 6 feţe pe fiecare faţă de octaedru, care este unică în acest fel, nici nu mai este nevoie să se arate forma feţelor. Ea se numeşte pur şi simplu hexaoctaedru (fig. 137).

După acest criteriu, se disting în total 48 de forme simple.
Există uneori însă, cîteva forme cu acelaşi aspect, care

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

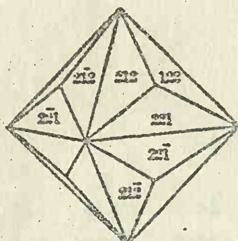


Fig. 135

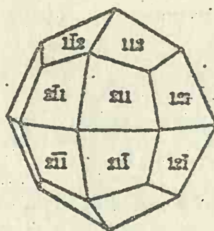


Fig. 136

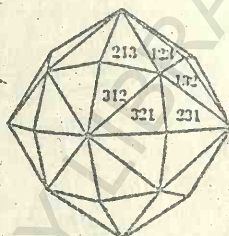


Fig. 137.

ar cere aceeaşi denumire, dar care rezultă, fie prin repetarea unor feţe generatoare cu poziţii diferite între ele şi în raport cu sistemul de axe cristalografice, fie prin repetarea aceloraşi feţe, dar pe baza unor elemente diferite de simetrie.

Cu aceste variante, numărul formelor simple, în sensul mai larg, dar mai riguros, creşte.

Astfel, de ex. dacă luăm o faţă paralelă cu axa L^4, $z\ \bar{z}$, în clasa planaxială a sistemului tetragonal şi o considerăm că taie la distanţe egale axele $x\ \bar{x}$ şi $y\ \bar{y}$, respectiv, două axe L^2, faţă, cu notaţia (110) se va repeta de 4 ori în jurul axei L^4 şi va rezulta o prismă cu secţiunea pătrată, prisma tetragonală (fig.138).

Dacă luăm, în aceeaşi clasă, faţa generatoare, paralel cu L^4, $z\ \bar{z}$, astfel ca să taie perpendicular o axă din aceeaşi grupă, de ex. L^2, $x\ \bar{x}$, faţa se va repeta tot de 4 ori, va rezulta tot o prismă tetragonală, dar cu feţe de forma (100), orientate diferit (fig. 139).

Ambele forme sînt prisme tetragonale, dar feţele lor ocupă poziţii diferite şi au notaţii diferite, cu toate că au aceeaşi simetrie, D_4h.

Şi în cazul cînd se ia o faţă paralelă cu $z\ \bar{z}$, într-o poziţie oarecare în raport cu axele x şi y, deci o faţă (hk0), pe baza axei L^4 rezultă tot o prismă tetragonală, dar aceasta nu mai are alte axe de simetrie în afara axei L^4 şi nici plane P^2, face parte din clasa centrică (fig.140).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Fiecare prismă tetragonală rezultă astfel prin repatarea altei fețe generatoare: (110), (100) sau de ex. (210); în sensul larg sînt forme simple diferite.
Formele care taie cele două axe orizontale la aceeași distanță, ca forma (110), se spune că sînt forme de specia I; cele care taie o singură axă orizontală cu fiecare față, iar aceasta este paralelă cu celelalte două axe, ca forma cu fețe (100), se spune că sînt forme de specia II-a; în fine, cele ale căror fețe taie cîte două axe orizontale la distanțe diferite, ca forma cu fețe (210), se spune că sînt forme de specia III-a.

Desigur că la o formă simplă, alegerea poziției axelor cristalografice este arbitrară pentru cele trei specii de forme și că în toate cazurile vom considera forma ca fiind de specia I. Formele simple de specia II-a și III-a nu se consideră ca atare decît atunci cînd sînt asociate între ele și cu forme de specia I, adică în forme compuse.

Am văzut că, în raport cu un sistem de axe cristalografice, o față poate ocupa 7 poziții diferite, din care una generală (hkl), în care taie cele trei axe la distanțe diferite, iar celelalte, particulare, în care fața, fie că taie două sau toate cele trei axe la distanțe egale, fie că este paralelă cu una sau două axe.

Formele simple care rezultă prin repetarea unei fețe din poziția generală (hkl), se numesc forme generale, iar celelalte, forme particulare.

Formele care rezultă prin repetarea unei fețe fundamentale se numesc forme fundamentale. Fețele lor intersectează cele trei axe la aceeași distanță, măsurată în parametri fundamentali (a:b:c), (111) și sînt prin urmare, tot forme particulare.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SPECII DE FORME SIMPLE

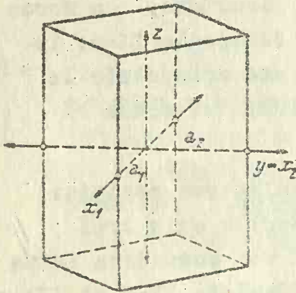


Fig. 138a

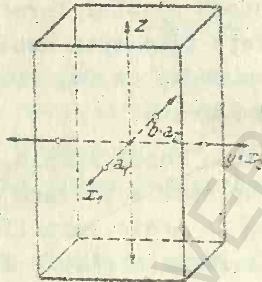
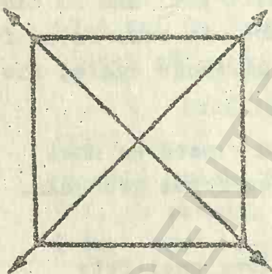
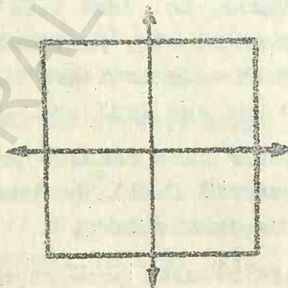


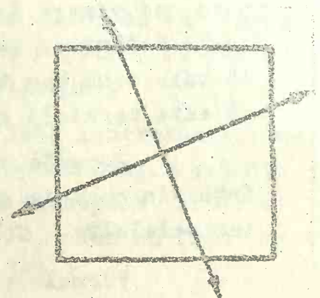
Fig. 139a



Fig. 140a


Fig. 138b.


Fig. 139b


Fig. 140b.

SPECIA I SPECIA II SPECIA III

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

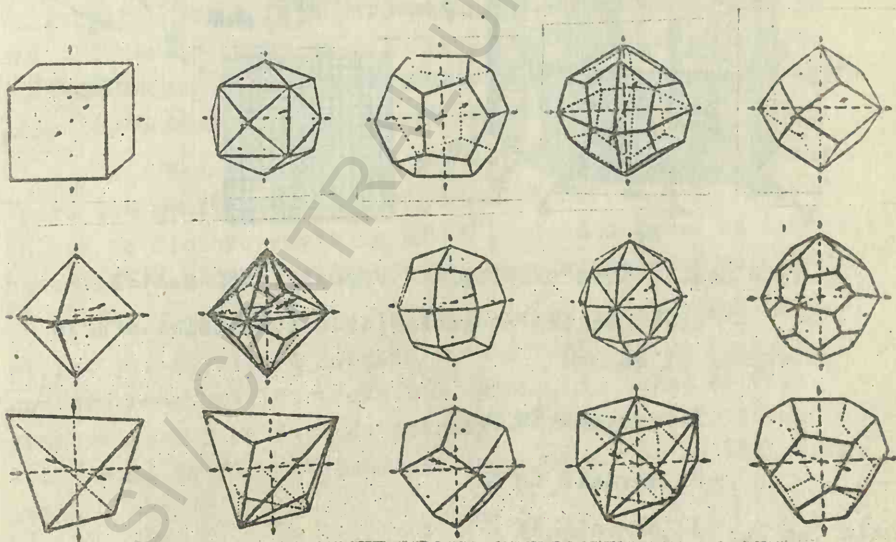
DEDUCEREA FORMELOR SIMPLE POSIBILE LA CRISTALE.

In modul cel mai simplu se pot deduce formele simple posibile la cristale, cu ajutorul proiecţiei stereografice, repetînd polul feţei generatoare pentru fiecare din cele 7 poziţii pe care le poate ocupa într-un triunghi sferic elementar şi în raport cu elementele de simetrie ale fiecărei clase. In acest mod vom prezenta şi noi în cele ce urmează, formele simple din fiecare sistem începînd cu sistemul cubic.

1. 1. SISTEMUL C U B I C.

Datorită relaţiei axiale, $\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$ şi a : a : a , formele de cristale din sistemul cubic au, în general, un aspect izometric.

Numărul mare de elemente de simetrie (minimum 7, în clasa de simetrie primitivă, $3L^2\ 4L^3$, şi dispoziţia lor reciprocă, face ca în sistemul cubic să nu existe în nici o clasă direcţii unice ci, numai direcţii simetric egale.



FORMELE SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Sistemul cubic are şi cele mai multe forme simple (15), fiind singurul sistem care - în clasa planaxială - are cîte o formă simplă distinctă pentru fiecare din cele şapte poziţii posibile ale feţei generatoare.

Se întîlnesc în acest sistem forme meriedrice variate: hemiedrice şi tetartoedrice, forme dreapta şi stînga, forme pozitive şi forme negative.

a. Clasa planaxială.

In clasa planaxială, cu formula de simetrie:

$$\begin{matrix} 3L^4 & 4L_6^3 & 6L^2 \\ 3\Pi & & 6P^2 \end{matrix} C$$

şi cu proiecţia stereografică din fig.141,

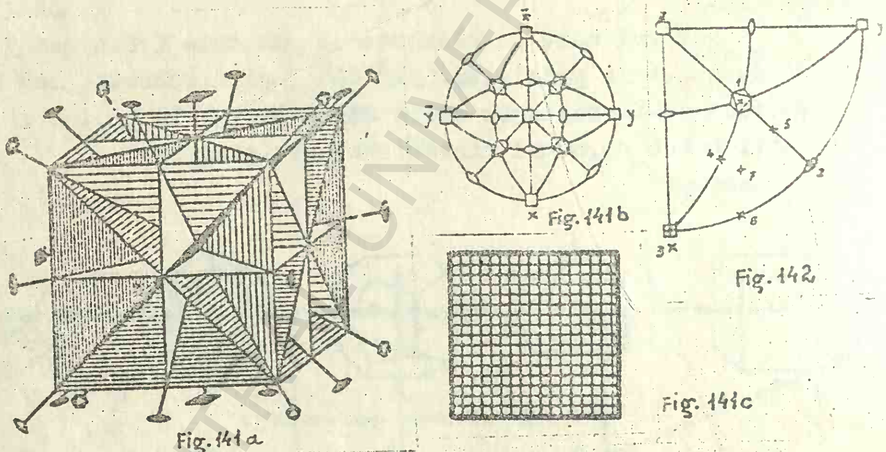

Fig. 141 a

Fig. 141 b

Fig. 141 c

Fig. 142

o faţă poate ocupa următoarele 7 poziţii (fig.142).

- trei poziţii pe colţurile triunghiului sferic elementar şi anume:

1. normală în L_6^3
2. normală în L^2
3. normală în L^4

- trei poziţii în care normalele lor se proiectează pe laturile triunghiului sferic:

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4. cu normala cuprinsă între L_6^3 şi L^4

5. " " " " L_6^3 şi L^2

6. " " " " L^2 şi L^4

şi o poziţie (7) cu normala cuprinsă între L^4, L_6^3 şi L^2, care se proiectează în interiorul triunghiului sferic.

-Repetînd polul feţei proiectate în poziţia (1) va rezulta cîte o faţă perpendiculară pe fiecare capăt de axă L_6^3, deci o formă cu 8 feţe, octaedrul (fig.143 a). Se obişnueşte să se noteze formele simple de cristal prin indicii feţei generatoare, puşi între paranteze acoalade. Octaedrul este forma fundamentală şi se notează {111}, iar proiecţia sa stereografică este cea din fig. 143 b).

- Repetînd faţa proiectată în poziţia (2), (110), va rezulta cîte o faţă perpendiculară pe fiecare capăt de axă L^2, deci o formă cu 12 feţe, un dodecaedru. Feţele acestui dodecaedru au formă rombică, forma se numeşte dodecaedru romboidal (fig.144) care se notează cu {110}.

- Repetînd conform simetriei, polul feţei generatoare din poziţia (3), (100), rezultă cîte o faţă perpendiculară pe fiecare capăt de axă L^4, adică o formă cu 6 feţe, hexaedrul sau cubul (fig.145), care se notează cu {100} .

- Prin repetarea feţei care se proiectează în poziţia (4), (211), va rezulta cîte o faţă pentru fiecare poziţie cuprinsă între axele L^4 şi L_6^3, în total 24 feţe grupate cîte 3 pe faţă de octaedru. Feţele sînt tetragonale deci forma va fi un tetragon-trioctaedru, de ex.{211}(fig. 146).

După cum înclinarea feţei este mai mare sau mai mică faţă de axa L^4, normala va cădea în proiecţie, mai aproape sau mai departe de capătul respectiv al axei L^4, dar în toate cazurile pe planul P^2 care trece prin x $\bar{x}$ şi printre y

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

şi z, la 45^{o}; deci vor rezulta mai multe forme tetragontrioctaedru, care se vor nota,în general, cu {hll}. Numărul lor este limitat de legea lui Haüy.

- Prin repetarea feţei proiectate în poziţia (5), (221), va rezulta cîte o faţă pentru fiecare poziţie cuprinsă între axele L_6^3 şi L^2, deci tot 24 feţe, grupate cîte 3 pe fiecare faţă de octaedru.

Feţele fiind însă aici, triunghiulare, forma se va numi trigontrioctaedru (fig.147) şi se va nota cu{221}sau în general, cu {h h l}.

- Pentru poziţia (6), (210), a feţei generatoare va rezulta o formă cu 24 feţe, care au normalele cuprinse între L^2 şi L^4, pe planele π ,grupate cîte 4 pe fiecare faţă de hexaedru din care cauză se numeşte tetrahexaedru sau cub piramidat şi se poate nota{210} sau, în general {hk0} (fig. 148).

- Poziţia (7), (321), este poziţia generală a ...i generatoare.

Ea taie axele la distanţe diferite.Polul se proiectează între axele L^4 L_6^3 L^2, în interiorul triunghiului sferic, repetîndu-se în fiecare triunghi, va rezulta o formă cu cîte 6 feţe pe fiecare faţă de octaedru, deci un hexaoctaedru cu 48 feţe, notat cu {321} sau, în general{h k l}, (fig.149).

Aceasta este forma generală a clasei.Formele particulare se pot repeta şi în alte clase, de ex. cubul se găseşte în toate clasele pentru poziţia (100), dar formele generale nu se mai întîlnesc în nici o altă clasă şi în nici o altă poziţie; sînt caracteristice pentru clasele respective şi de aceea se foloseşte şi denumirea clasei după forma sa generală. In acest caz,clasa hexaoctaedrică.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Formele particulare care se găsesc în mai multe clase de simetrie, prezintă detalii care le pun în evidenţă meriedria. De exemplu, cubul de galenă, din clasa O_h, care are feţele lucii, clivează după feţele de cub (fig.150 a), pe cînd cubul de pirită din clasa T_h, prezintă pe feţe striuri paralele, astfel dispuse pe fiecare faţă în cît indică prezenţa axelor L^2 în locul axelor L^4 (fig.150 b).

Avînd cele mai multe elemente de simetrie, formele din clasele planaxiale au şi toate feţele posibile pentru fiecare poziţie. Formele cu maximum de feţe posibile se mai numesc şi forme holoedrice.

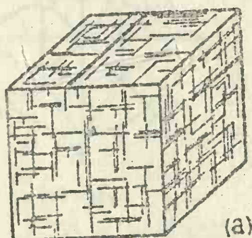


Fig. 150 a.

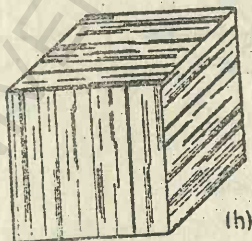


Fig. 150 b.

In celelalte clase pot apare forme; uneori derivate din acestea, care au un număr mai mic de feţe; acestea se numesc forme meriedrice.

Formele meriedrice pot avea jumătate din feţele formei holoedrice din care derivă, sînt hemiedrice, un sfert din aceste feţe şi sînt tetartoedrice sau, într-un caz, o optime, cînd sînt forme ogdoedrice.

Tot pe acest considerent clasele planaxiale se mai numesc şi clase holoedrice.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC I

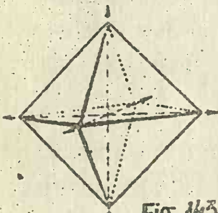


Fig. 143a

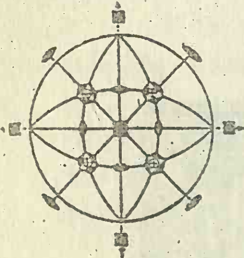
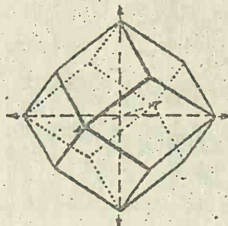


Fig. 143b.



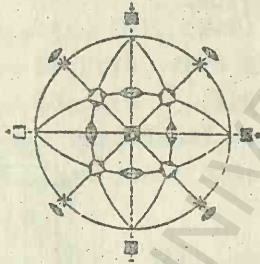
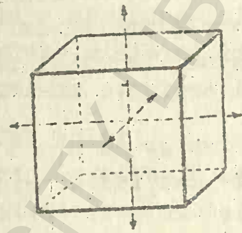


Fig. 144



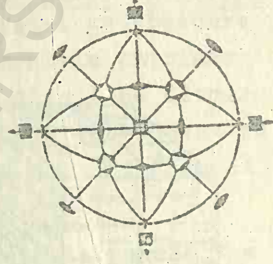
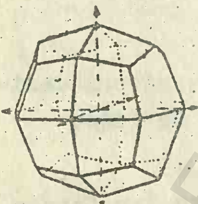


Fig. 145



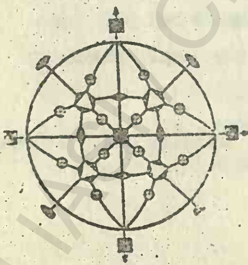
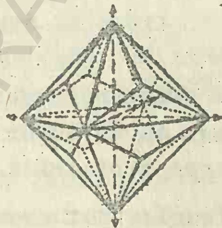


Fig. 146



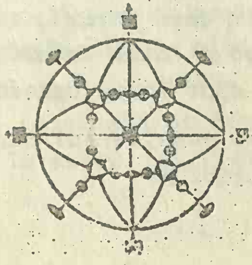
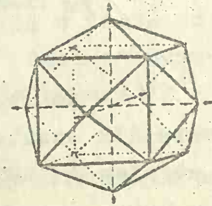


Fig. 147



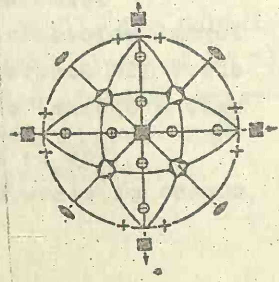


Fig. 148.

CLASA PLANAXIALĂ

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC (Cont. I)

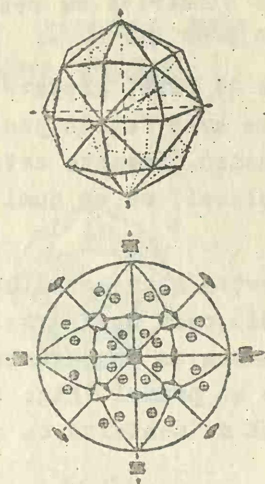


Fig. 149.

b. Clasa axială.

In clasa axială, cu formula de simetrie $3L^4\ 4L^3\ 6L^2$ - pentru poziţiile 1 - 6 vor rezulta aceleaşi forme ca şi în clasa planaxială. De ex. în poziţia (3), (100), faţa generatoare va fi repetată conform elementelor de simetrie, tot de 6 ori, pe fiecare capăt al axelor L^4 şi va rezulta tot un hexaedru (cub), dar, prin detaliile de pe feţele sale, acest cub va fi lipsit de plane şi de centru de simetrie (fig.151).

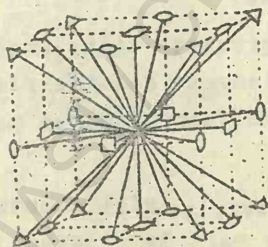


Fig. 151a

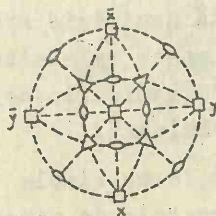


Fig. 151b

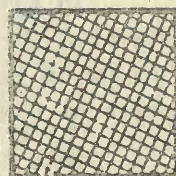


Fig. 151c

O formă nouă, caracteristică, se va forma numai prin repetarea feţei generatoare din poziţia generală : (7). (h k l).

Luînd în proiecţie stereografică faţa (321), de ex. şi repetînd-o conform simetriei va rezulta, de data aceasta, o formă nouă (fig.152).

Forma va avea 24 feţe, grupate cîte 3 pe fiecare faţă de octaedru şi va avea feţele pentagonale, se va numi deci, pentagontrioctaedru. Aceasta este forma generală {321} sau {h k l} a clasei; se va numi şi clasă pentagontrioctaedrică.

Dacă în proiecţia stereografică repetăm, ca faţă generatoare, faţa (231), care are normala tot între L^4, L^3 şi L^2, va rezulta deasemenea un pentagontrioctaedru, dar care nu se poate suprapune cu primul (fig. 153).
Acestea sînt, una faţă de cealaltă, ca mîna dreaptă faţă de mîna stîngă.
Se spune că cele două forme sînt enantiomorfe. Ele dau anumite proprietăţi caracteristice cristalelor. De ex. rotesc planul de polarizaţie a luminei spre stînga sau spre dreapta; sînt dextrogire sau levogire, cum este cuarţul sau cum este acidul tartric.

Formele se numesc forme dreapta şi forme stînga. In calasele cu centru sau plane de simetrie nu pot exista forme enantiomorfe.

După cum vedem, cei doi pentagontrioctaedri conţin, fiecare, cîte jumătate (24) din feţele formei generale a clasei planaxiale, hexaoctaedrul, din care derivă (fig.154). sînt forme meriedrice, în acest caz, forme hemiedrice şi anume, hemiedrii ale hexaoctaedrului.

In această hemiedrie sînt prezente toate axele sistemului dar lipsesc celelalte elemente de simetrie. Se spune că este o hemiedrie holoaxă, iar clasa se mai numeşte şi clasă holoaxă.

Cele două forme simple hemiedrice sînt simetrice în raport cu elementele de simetrie care le lipsesc, în acest caz, în raport cu planele. Ele sînt forme complementare sau forme corelate. Două forme hemiedrice corelate pot constitui împreună o formă holoedrică simplă.

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC II

MERIEDRII **CL. AXIALĂ**

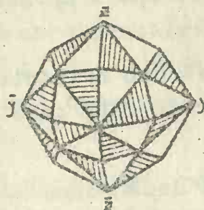


Fig. 154.

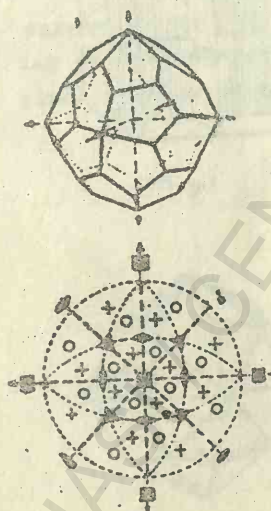


Fig. 152.

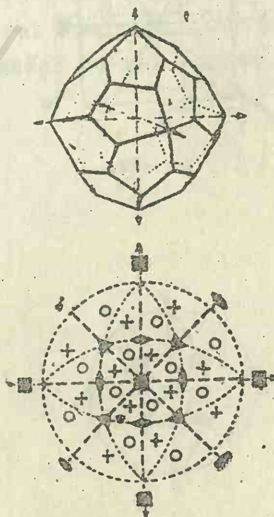


Fig. 153.

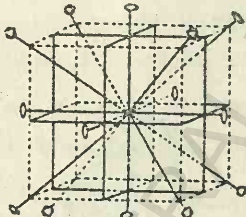
BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

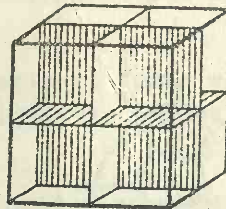
c. Clasa centrică.

In clasa centrică cu formula de simetrie, $3L^2\,4L_6^3\,3\pi\,C$ (fig. 155) se găsesc 2 feluri de forme noi: forma generală {h k l} şi forma particulară{h k o}cu feţele generatoare în poziţia (7), respectiv (6).

(1)Forma generală derivă din hexaoctaedru prin desvoltarea alternativă a perechilor de feţe care satisfac simetria dată de planele π.

Rezultă şi aici două forme hemiedrice corelate, cu cîte 12 perechi de feţe, care se numesc, din acest motiv, didodecaedri iar clasa de simetrie se mai numeşte şi clasă didodecaedrică.


Fig. 155a


Fig. 155b.

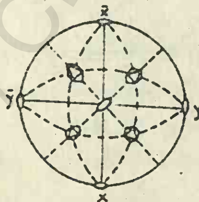


Fig. 155c.

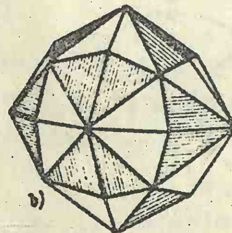


Fig. 156

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Cristalele cu asemenea forme nu mai rotesc planul de polarizaţie a luminii din cauză că au centru de simetrie, iar în acest caz şi plane de simetrie, aşa că nu mai pot fi numite forme dreapta şi stînga. Se numesc forme pozitive şi negative. Vom avea un didodecaedru pozitiv, de ex. {321} + cu faţa generatoare corespunzătoare pentagontrioctaedrului drept din clasa axială şi un didodecaedru negativ de ex. {312} - cu faţa generatoare corespunzînd pentagontrioctaedrului stîng (fig. 156).

(2) A doua formă specifică poate fi socotită ca derivînd din forma holoedrică tetrahexaedru, cu faţa generatoare în poziţia (6), din care s-au dezvoltat alternativ, perechi de feţe. Forma care rezultă în acest fel este hemiedria tetrahexaedrului, are 12 feţe pentagonale şi se numeşte dodecaedru pentagonal.

Şi în acest caz vom avea o formă pozitivă, de ex. {210}+ şi o formă negativă, de ex. {120}-, (fig.157).

Formele hemiedrice din clasa centrică, avînd feţele paralele, două cîte două, se mai spune că sînt parahemiedrice, iar pe această bază, clasa însăşi se mai spune că este o clasă parahemiedrică.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC III

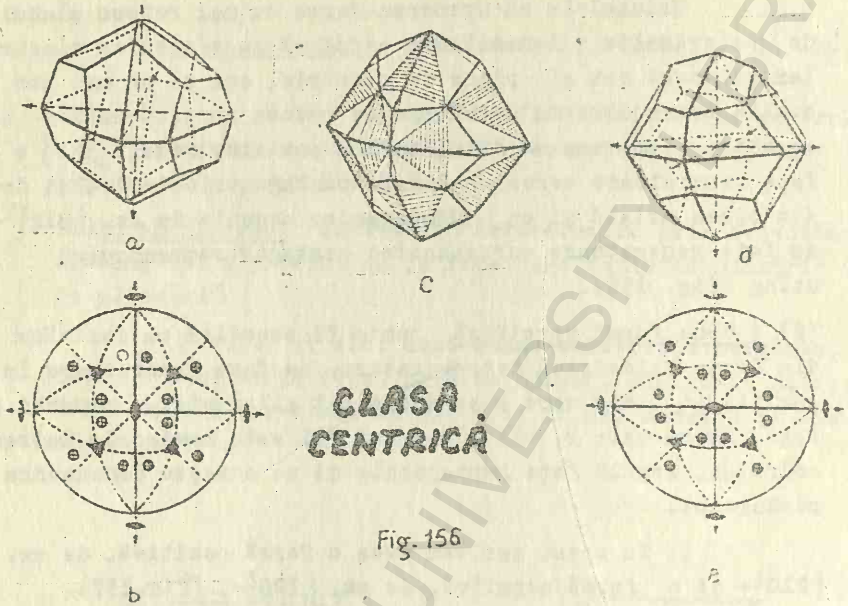


Fig. 156

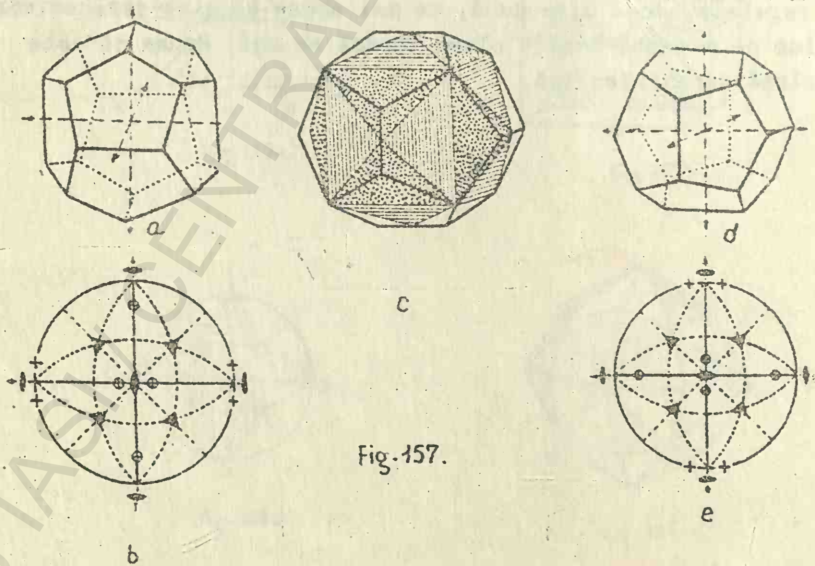


Fig. 157.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

d. Clasa planală.

Clasa planală, cu formula de simetrie $3L_4^2\,4L^3\,6P$ – are ca forme noi formele care rezultă prin repetarea fețelor generatoare din pozițiile (1),(4),(5) și (7), (fig.158).

Aceste forme sînt hemiedriile formelor $\{111\}$, $\{hl1\}$, $\{hhl\}$, și $\{hkl\}$ din clasa planaxială.

Din forma fundamentală, octaedru, se pot deduce doi tetraedri și anume, tetraedrul pozitiv $\{111\}$ + și tetraedrul negativ, $\{1\bar{1}1\}$ – (fig.159).

Din tetragontrioctaedru, de ex. $\{211\}$ se poate deduce trigontritetraedrul, tot în două forme corelate, trigontritetraedrul pozitiv $\{211\}$ + și trigontritetraedrul negativ, $\{2\bar{1}1\}$ –, care conțin cîte o jumătate din grupele de cîte trei fețe ale formelor holoedrice, luate alternativ (fig.160).

După cum vedem, fețele formelor hemiedrice au aceleași poziții, aceleași notații ca și în formele holoedrice din care derivă. Trigontritetraedrul pozitiv va avea în octantul x y z, fețele (211),(121) și (112) ca și tetragontrioctaedrul din care derivă, dar forma fețelor se schimbă; din tetragonale devin trigonale.

Invers se vor petrece lucrurile la hemiedria care urmează.

Tot astfel, din trigontrioctaedru, de ex. din $\{221\}$ se poate deduce tetragontritetraedrul în formele corelate, $\{221\}$ + și $\{2\bar{2}1\}$ –, tetragontritetraedrul pozitiv și tetragontritetraedrul negativ, care conțin fiecare cîte jumătate din grupele de cîte trei fețe ale trigontrioctaedrului (fig. 161).

In fine, din forma holoedrică generală, hexaoctaedrul – de ex. $\{321\}$, se poate deduce hemiedria lui, hexatetraedrul, cu cele două forme corelate: hexatetraedrul pozitiv, $\{321\}$ + și hexatetraedrul negativ, $\{3\bar{2}1\}$ –, fiecare cu cîte jumătate din grupele de 6 fețe ale hexaoctaedrului, luate alternativ (fig.162). Clasa de simetrie se numește hexatetraedrică. Din cauza lipsei centrului de simetrie și a planelor, fețele opuse nu mai sînt paralele; clasa se mai numește și antihemiedrică.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CLASA PLANALĂ

SIMETRIE ŞI HEMIEDRII

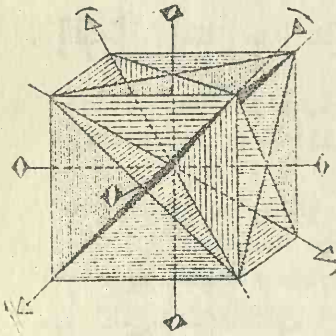


Fig. 158 a

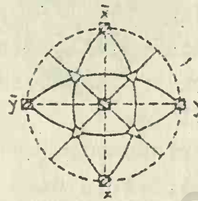


Fig. 158 b.

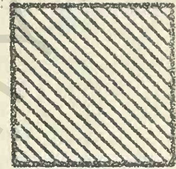


Fig. 158 c

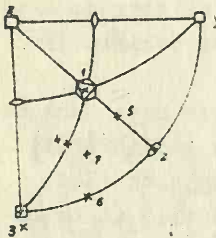


Fig. 158

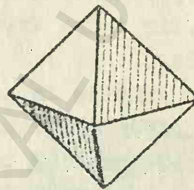


Fig. 159

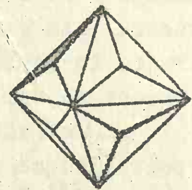


Fig. 161 c.

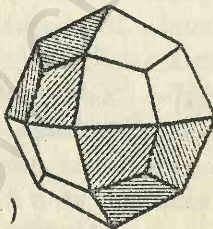


Fig. 160 c

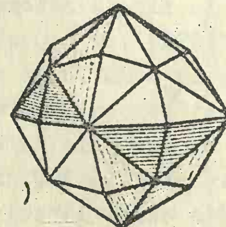


Fig. 162 c

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC IV

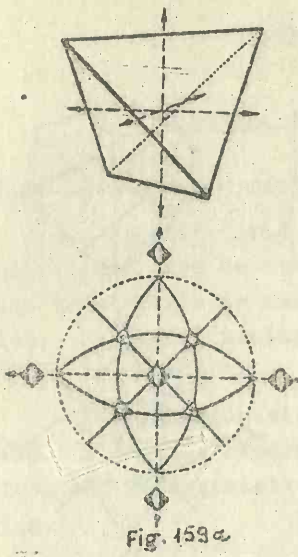


Fig. 159 a

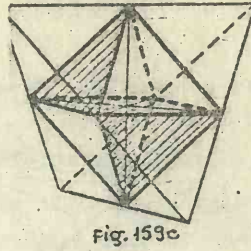


Fig. 159 c

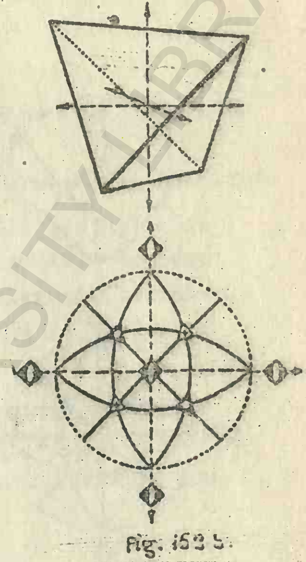


Fig. 159 b

CLASA PLANALĂ

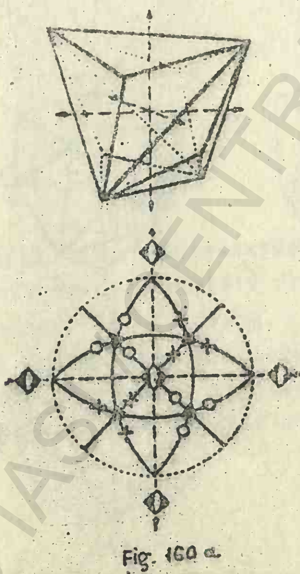


Fig. 160 a

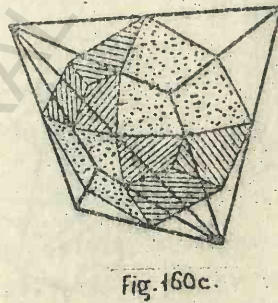


Fig. 160 c.

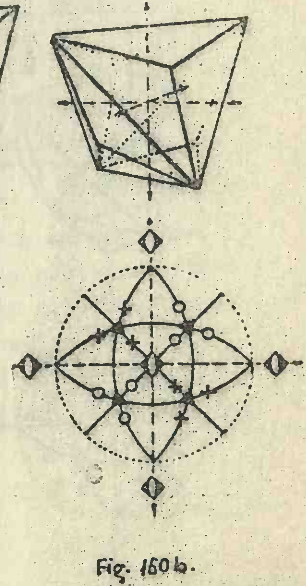


Fig. 160 b.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC V̄

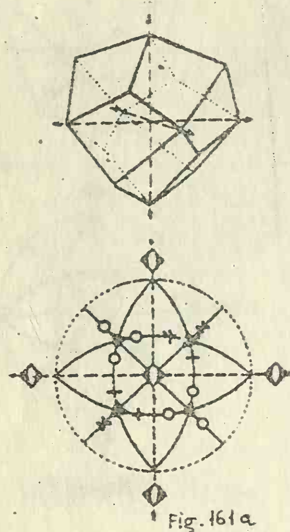


Fig. 161 a

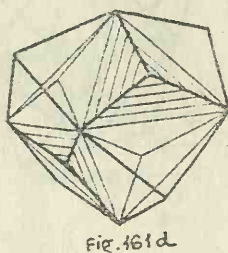


Fig. 161 d

CLASA PLANALĂ

2

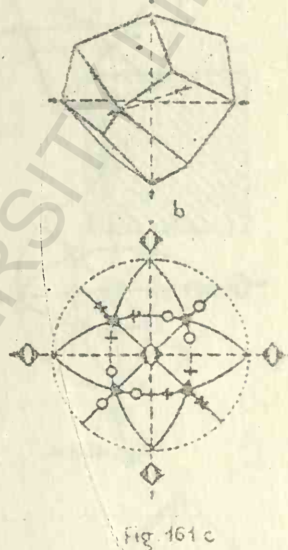


Fig. 161 c

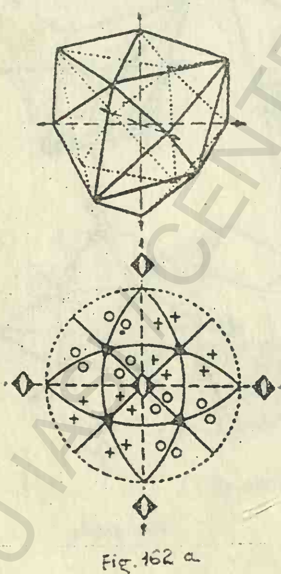


Fig. 162 a

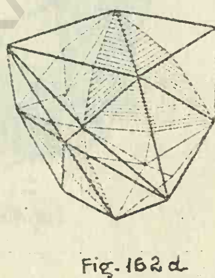


Fig. 162 d

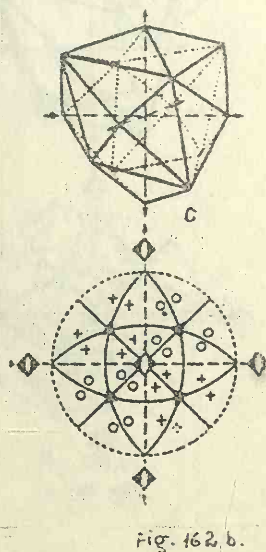


Fig. 162 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

a. Clasa primitivă.

Clasa primitivă cu formula de simetrie $3L^2\ 4L^3$ - (fig. 163) nu are decît forma generală ca formă caracteristică.

Această formă are 12 fețe pentagonale, grupate cîte 3 pe fiecare față de tetraedru, este un pentagontritetraedru; clasa de simetrie se mai numește și clasa pentagontritetraedrică. Meriedria pentagontritetraedrului poate fi considerată în două moduri:

- pentagontritetraedrul poate fi socotit ca o hemiedrie a hexatetraedrului. Din fiecare hexatetraedru se pot deduce doi pentagontritetraedri corelați, unul drept și unul stîng.

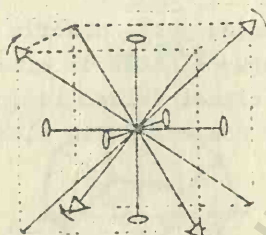


Fig. 163a

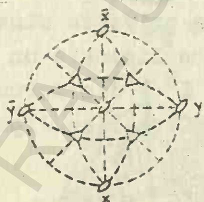


Fig. 163 b

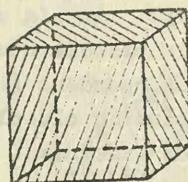


Fig. 163c

Astfel, din hexatetraedrul pozitiv, va rezulta un pentagontritetraedru pozitiv drept, {321} + dr și un pentagontritetraedru pozitiv stîng, {312}+ stg. (fig. 164 a,b).
Tot astfel din hexatetraedrul negativ, va rezulta un pentagontritetraedru negativ drept, $\{3\bar{2}1\}$- dr. și alt pentagontritetraedru negativ stîng, $\{3\bar{1}2\}$ - stg. (fig. 164 c,d).

Avem, prin urmare, patru forme corelate: pentagontritetraedrul pozitiv drept, pozitiv stîng, negativ drept și negativ stîng.
Cu cele două forme pozitive se poate reconstitui hexatetraedrul pozitiv, iar cu cele două forme negative se poate reconstitui hexatetraedrul negativ.

- Pentagontritetraedrul mai apare ca derivînd, tot ca o hemiedrie, dar din pentagontrioctaedru. Din fiecare pentagontrioctaedru vor deriva doi pentagontritetraedri: doi dreapta și doi stînga, cîte unul pozitiv și unul negativ (fig.165) și anume: 321 dr.+ , $\bar{3}\bar{2}1$ dr.- ; 312 stg.+ , $\bar{3}1\bar{2}$ stg.- .

- Pe lîngă aceste moduri de reprezentare, ca hemiedrii, pentagontritetraedrul mai poate fi considerat și ca o formă tetartoedrică, derivînd din hexaoctaedru și avînd 1/4 din fețele acestuia.

Clasa de simetrie, se spune că este o clasă tetartoedrică.

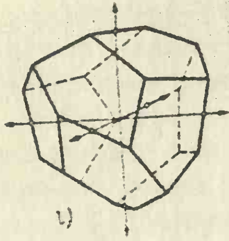
Cu cele 4 forme corelate se poate reconstitui forma holoedrică, hexaoctaedrul.

In ceea ce privește simetria, se poate observa că la clasele hemiedrice lipsește un singur element de simetrie independent (C sau L^2) din formula clasei holoedrice, pe cînd în clasele tetartoedrice lipsesc două asemenea elemente de simetrie (și L^2 și C).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL CUBIC

CLASA PRIMITIVĂ VI



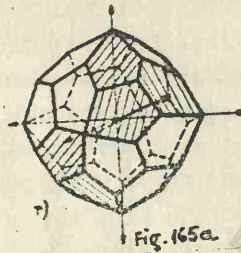
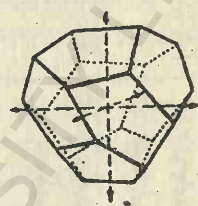


Fig.165a



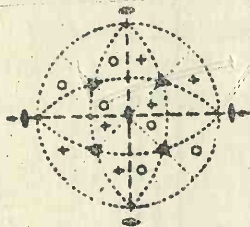


Fig.164 d₁

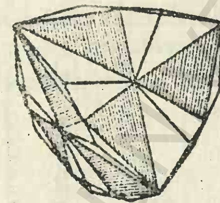


Fig.164c

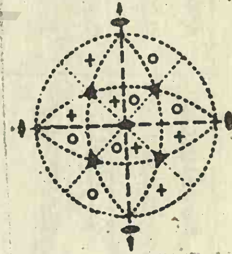
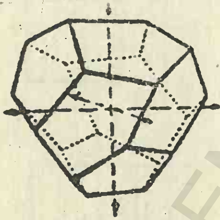


Fig.C1



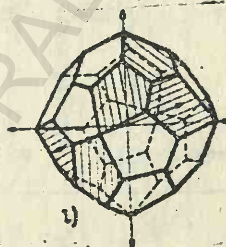


Fig.165b.

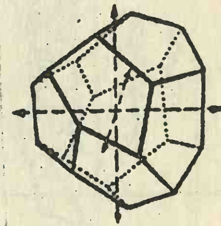




Fig.164d2

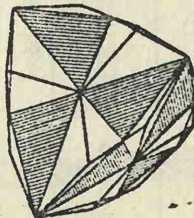


Fig.164d

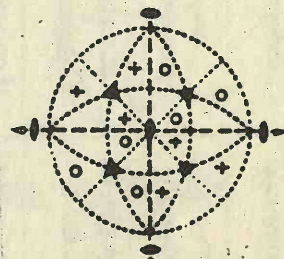


Fig.164c2

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Formele simple din sistemul cubic

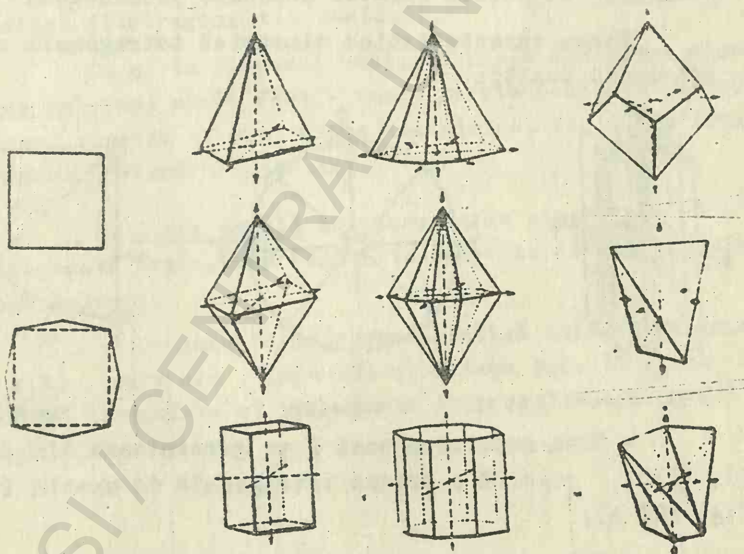
Clasele de simetrie / Poziția și simbolul feței				Primitivă $3L^2 4L^3$	Centrică $3L^2 4L^3_6$ 3Π C	Planală $3L^2_4 4L^3$ $6P$	Axială $3L^4 4L^3 6L^2$	Planaxială $3L^4 4L^3_6 6L^2$ 3Π $6P^2$ C
1	$N=L^3$	(111)	(111)	Tetraedru	Octaedru	Tetraedru	Octaedru	Octaedru
2	$N=L^2$	(110)	(110)	Dodecaedru romboidal	Dodecaedru romboidal	Dodecaedru romboidal	Dodecaedru romboidal	Dodecaedru romboidal
3	$N=L^4$	(100)	(100)	Hexaedru	Hexaedru	Hexaedru	Hexaedru	Hexaedru.
4	L^4-N-L^3	(hkk)	(211)	Trigontri-tetraedru	Tetragon-trioctaedru	Trigontri-tetraedru	Tetragon-trioctaedru	Tetragon trioctaedru
5	L^3-N-L^2	(hhl)	(221)	Tetragon-tritetraedru	Trigontri-octaedru	Tetragon-tritetraedru	Trigontri-octaedru	Trigontri octaedru
6	L^2-N-L^4	(hko)	(210)	Dodecaedru pentagonal	Dodecaedru pentagonal	Tetrahexa-edru	Tetrahexa edru	Tetrahexa edru
7	L^4 N L^3 L^2	(hkl)	(321)	Pentagontri-tetraedru	Didodec edru	Hexatetra-edru	Pentagon-trioctaedru	Hexaocta-edru.

1. 2. SISTEMUL T E T R A G O N A L

Sistemul tetragonal cu relația axială $\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$ și a : a : c face parte din categoria mijlocie de singonii și este deci caracterizat prin prezența unei direcții unice corespunzătoare axei principale L^4, respectiv L_4^2 .

Ca în toate sistemele din această categorie se găsesc și aici forme a căror secțiune prezintă un contur simplu, tetragonal sau contur dublu, respectiv ditetragonal.
Așa sînt piramidele, bipiramidele și prismele tetragonale, piramidele bipiramidele și prismele ditetragonale.

In toate clasele axiale ale sistemelor din categoria mijlocie de singonii se găsește ca formă generală un trapezoedru. In acest sistem, trapezoedrul tetragonal.



FORMELE SIMPLE DIN SISTEMUL TETRAGONAL

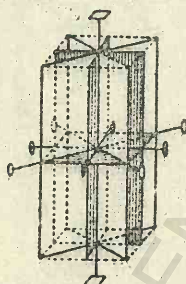
Tot astfel,există numeroase forme corelate: drepte şi stîngi,pozitive şi negative,hemimorfe superioare şi inferioare,hemiedrice şi tetartoedrice,de specia I,II şi III.

a. Clasa p l a n a x i a l ă.

In clasa planaxială cu formula de simetrie $\frac{L^4}{\pi}\frac{2L^2}{2P^2}\frac{2L'^2}{2P'^2}C$ elementele de simetrie se proiectează stereografic (fig. 166), astfel că se formează şi aici triunghiuri sferice identice. Pentru proiecţia polilor de feţe sînt de asemenea posibile 7 poziţii:

In poziţia (1) a feţei generatoare (001), perpendiculară pe L^4, se produce o singură repetare în partea opusă, datorită planului π şi rezultă un pinocoid {001}, care completează de obicei formele deschise prismatice.

Forme caracteristice simetriei tetragonale rezultă în celelalte poziţii:


Fig. 166a

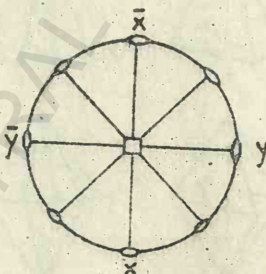


Fig. 166b

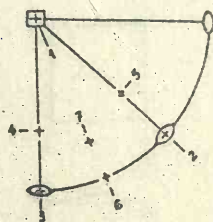


Fig. 166c

- Prin repetarea unei feţe generatoare din poziţia (2), (110), rezultă o prizmă tetragonală de specia I, {110} (fig. 167 a);

- Prin repetarea unei feţe generatoare din poziţia (3), (100), rezultă o prizmă tetragonală de specia II-a, {100} , care se găseşte în aceeaşi zonă cu cea de specia I-a (fig.167 b).

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- Prin repetarea unei fețe generatoare din poziția (4), rezultă o bipiramidă tetragonală a cărei fețe taie axa verticală, z $\bar{z}$ și o axă orizontală, fiind paralelă cu cea de-a doua, adică o bipiramidă tetragonală de specia II-a (fig. 168).

- Prin repetarea feței fundamentale din poziția (5), rezultă bipiramida tetragonală de specia I-a, care este forma fundamentală a sistemului tetragonal {111}(fig.169).

- Cu fața generatoare din poziția (6), (210), se ajunge la o prismă cu 4 perechi de fețe care fac între ele două feluri de unghiuri diedre.Forma se numește prismă ditetragonală, {210}, (fig. 170).

- In fine repetînd o față generatoare din poziția (7), generală, de ex. (211), rezultă bipiramida ditetragonală {211}, (fig.171), care este forma generală, caracteristică pentru clasa planaxială a sistemului, dîndu-i și denumirea de clasă ditetragonal bipiramidală.

Ca și în sistemul cubic, formele din clasa planaxială cu cele mai multe fețe - toate fețele posibile pentru fiecare poziție - sînt forme holoedrice, iar clasa este de asemenea o clasă holoedrică.

b. <u>Clasa axială</u> are formula de simetrie $L^4\ 2L^2\ 2L'^2$-, deci toate axele, dar fără alte elemente de simetrie.Este o clasă holoaxă.

- Singura formă caracteristică este forma generală {h k l}, care are 4 fețe sus și 4 fețe jos, în formă de trapeze neregulate și se numește trapezoedru tetragonal (fig. 172).

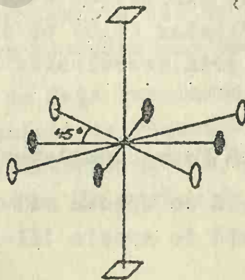
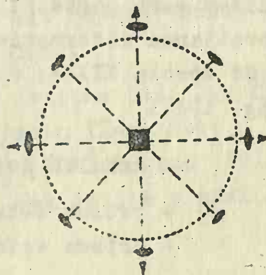


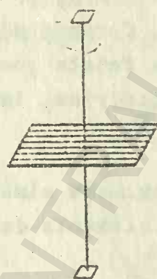
Fig. 172a.

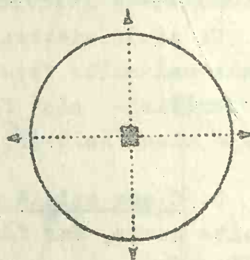

Fig. 172b.

Trapezoedrul tetragonal se poate deduce prin dezvoltarea alternativă a fețelor bipiramidei ditetragonale, a cărei hemiedrie este. Neavînd decît axe de simetrie, rezultă două forme enantiomorfe: un trapezoedru tetragonal drept {321} dr. și un trapezoedru tetragonal sting {$3\bar{2}1$} stg. (fig. 173).
Avem de-a face cu o hemiedrie holoaxă. Prin suprapunerea celor 2 forme se reconstituie forma holoedrică.

Pentru toate celelalte poziții corespund aceleași forme ca și în clasa planaxială.

c. <u>In clasa centrică</u> cu formula L^4 C (fig.174 a,b) nu rezultă nici o formă nouă, dar pentru poziția (6) și (7) rezultă forme hemiedrice cu secțiunea tetragonală și orientate astfel încît să taie axele orizontale la distanțe diferite, adică forme de specia a III-a.


Fig. 174 a_1


Fig. 174 b_1

In poziția (6) rezultă prisma tetragonală de specia a III-a care poate fi dedusă din prisma ditetragonală prin dezvoltarea alternativă a fețelor (210) și prisma tetragonală de specia III-a, dedusă prin dezvoltarea fețelor (120), (fig. 174c)

Rezultă deci două forme complementare:

- prisma tetragonală de specia III-a pozitivă 210 + și
- prisma tetragonală de specia III-a negativă $2\bar{1}0$ - .

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

La fel se pot deduce două forme hemiedrice corelate din bipiramida ditetragonală:

- bipiramida tetragonală de specia III-a pozitivă {211}+ şi

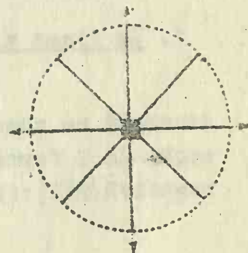
- bipiramida tetragonală de specia III-a negativă {2$\bar{1}$1}- (fig.175).

Bipiramida tetragonală de specia III-a este forma generală şi caracteristică a clasei, care se mai numeşte deci şi clasă tetragonalbipiramidală.

Avînd centru de simetrie, toate formele au feţe paralele, două cîte două, sînt parahemiedrice şi clasa este o clasă parahemiedrică.

d. <u>In clasa planală</u>, cu formula de simetrie $L^4 - \bar{-} - 2P\ 2P'$ (fig.176) din cauză că lipseşte atît centrul de simetrie, cît şi axele de ordinul 2, deci şi planul principal π feţele aplecate spre axa z $\bar{z}$ nu se vor mai repeta în partea opusă, jos şi sus. Ele apar ca jumătăţi ale formei holoedrice corespunzătoare. Se spune că avem de-a face cu o hemiedrie hemimorfă,


Fig.176a


Fig.176 b.

iar formele corelate, vor fi superioare sau inferioare, după cum reprezintă partea superioară sau cea inferioară a bipiramidei din care face parte în forma holoedrică (fig. 177).

Faţă de poziţia (1) nu se va mai repeta. Forma simplă este deci un monoedru sau pedion {001}.

- Forma cu faţa generatoare în poziţia (4), va fi jumătate bipiramidei tetragonale de specia II-a, deci o piramidă tetragonală de specia II-a, $\frac{1}{2}${101} + sau {10$\bar{1}$}- după cum o socotim, în partea de sus sau de jos a axei z $\bar{z}$.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

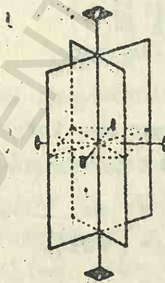
Forma cu fața generatoare în poziția (5) ca fi jumătatea bipiramidei $\{111\}$, de specia I-a, adică o piramidă tetragonală de specia I-a, $\frac{1}{2}\{11\bar{1}\}$.

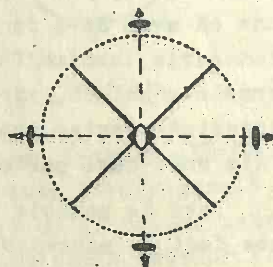
Forma generală, din poziția (7) va fi jumătatea bipiramidei ditetragonale, adică o piramidă ditetragonală, $\frac{1}{2}\{211\}$ + sau $\frac{1}{2}\{21\bar{1}\}$ - Clasa se mai numește, deci și clasa ditetragonal piramidală.

e. <u>Clasa primitivă</u> are numai axa de simetrie L^4. In această clasă nu sînt forme noi. Forma generală, care este tot o formă hemimorfă, este însă o piramidă tetragonală de specia III-a, $\frac{1}{4}\{h\ k\ l\}$, (fig. 178).

Ea apare în 4 forme corelate, fie ca hemiedrii ale piramidelor ditetragonale, superioare și inferioare, fie ca tetartoedrii ale formei holoedrice, bipiramida ditetragonală (fig.179). Vom avea deci două piramide tetragonale drepte și două stîngi, cîte una superioară și una inferioară,(180).

f. <u>In clasa giroido-planală</u> cu $L_4^2\ 2L^2$ - (fig.181 a,b forma
- - 2P
generală se numește scalenoedru ditetragonal. Aceasta se găsește în 2 forme corelate: forma pozitivă, $\{211\}$ + și forma negativă $\{2\bar{1}1\}$ -(fig.181 c,d,e).


Fig. 181a


Fig. 181 b.

O formă nouă rezultă și prin repetarea feței generatoare din poziția (5). Forma are 4 fețe, este un tetraedru tetragonal, care apare ca hemiedrie a bipiramidei tetragonale

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

de specia I-a pozitiv, $\{111\}$ + şi tetraedul tetragonal de specia I-a negativ, $\{1\bar{1}1\}$ -, (fig. 182).

g. <u>In clasa giroidoprimitivă</u> care are numai giroida L^2_{4i} ca element de simetrie, nu apar forme noi. Tetraedrul tetragonal care apare în poziţia generală (7) este de specia III-a.

Se găseşte în 4 forme corelate, fie ca tetartoedrii ale bipiramidei ditetragonale, fie ca hemiedrii ale celor doi scalenoedri ditetragonali: dr. + $\{211\}$, dr. -$\{21\bar{1}\}$, st. + $\{121\}$, st. - $\{12\bar{1}\}$ (fig. 183).

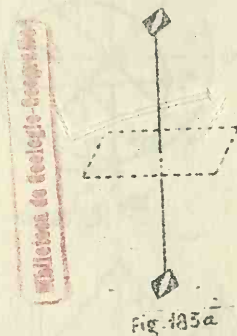

Fig. 183 a


Fig. 183 b


Fig. 178 a

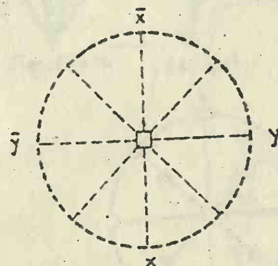
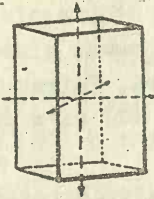
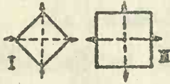


Fig. 178 b

FORME SIMPLE DIN SISTENUL TETRAGONAL

I





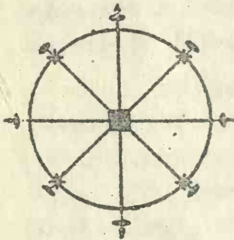


Fig. 167 a

CLASA PLANAXIALĂ

SPECII:

I II

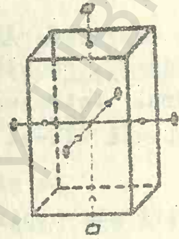


Fig. 167 b₁

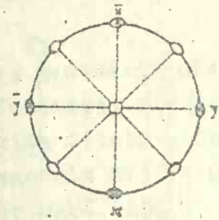
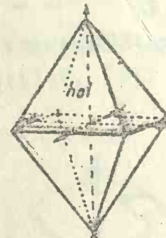


Fig. 167 b



(a)

Fig. 169₁



(b)

Fig. 168₁

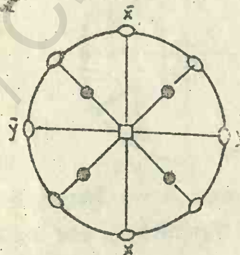


Fig. 169

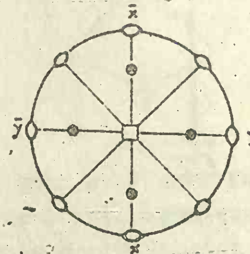


Fig. 168

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TETRAGONAL
II

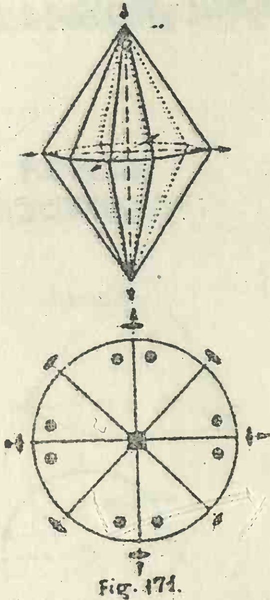


Fig. 171.

CLASA PLANAXIALĂ
- continuare -

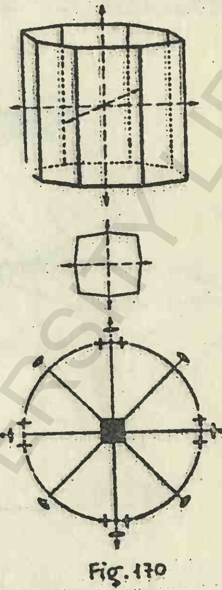


Fig. 170

CLASA AXIALĂ

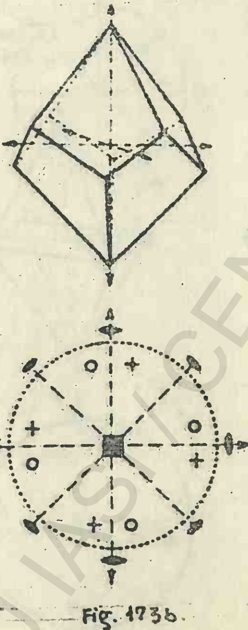


Fig. 173 b.

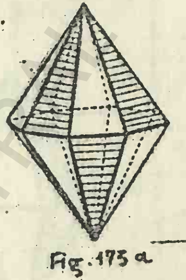


Fig. 173 a

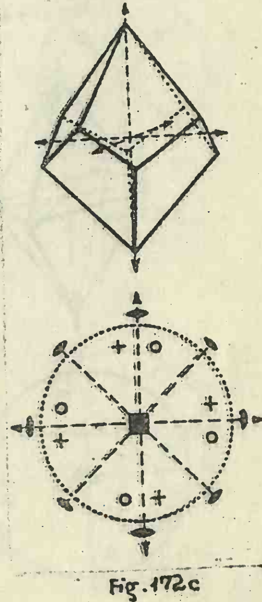


Fig. 172 c

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TETRAGONAL III

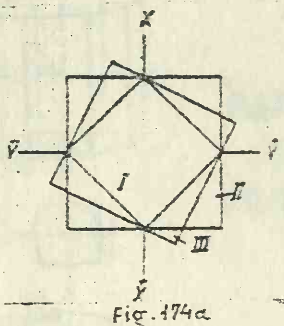
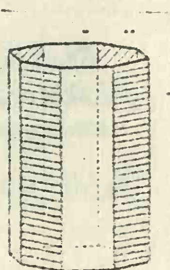


Fig. 174 a


Fig. 174 c

CLASA CENTRICĂ

- specii -

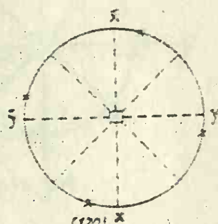


Fig. 174 d


Fig. 174 e

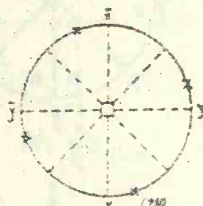
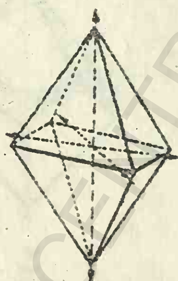
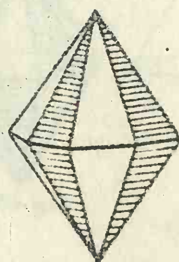
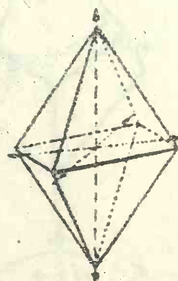
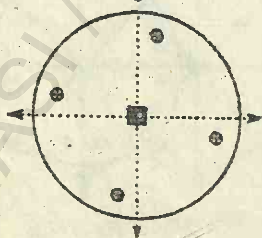


Fig. 174 b

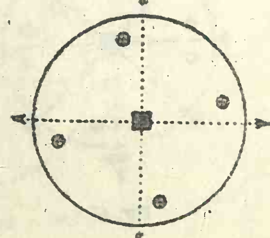



Fig. 175 a



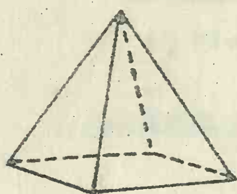

Fig. 175 b

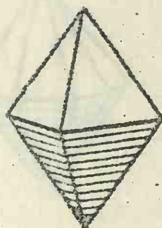
HEMIEDRII

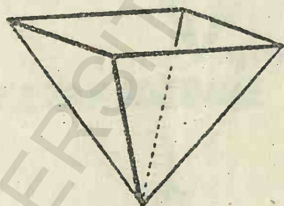

Fig. 175 c

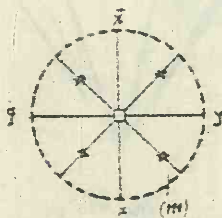
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

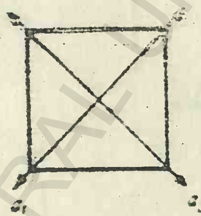
FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TETRAGONAL
IV
CLASA PLANALĂ

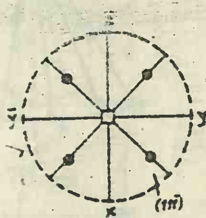

Fig. 177 a

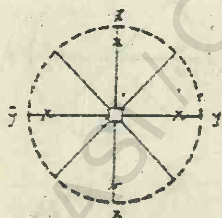

Fig. 177 b.

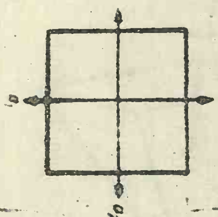

Fig. 177 c

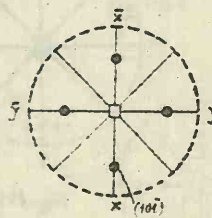

Fig. 177 d


Fig. 177 e


Fig. 177 c_1


Fig. 177 f.


Fig. 177 g.


Fig. 177 h.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TETRAGONAL
V
CLASA PLANALĂ - continuare

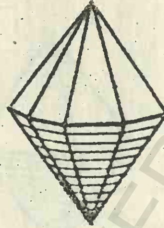


Fig. 177 i

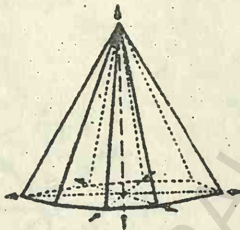


Fig. 177 i_1

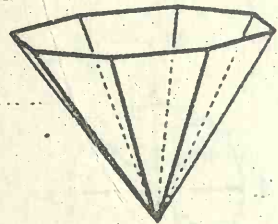


Fig. 177 j_1

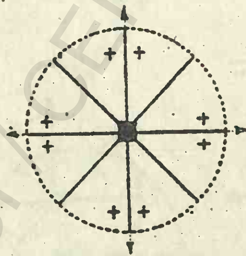


Fig. 177 i_2

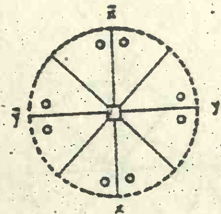


Fig. 177 j_2

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TETRAGONAL
VI

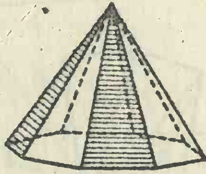


Fig. 179 a

CLASA PRIMITIVĂ

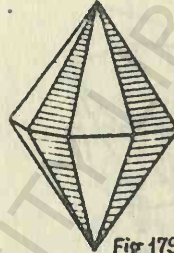


Fig 179 b

HEMIEDRIE ȘI TETARTOEDRIE

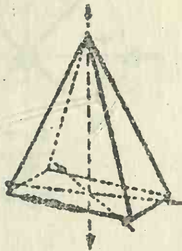
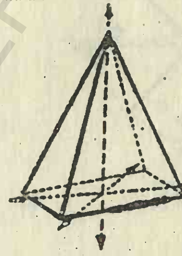




Fig. 180 d



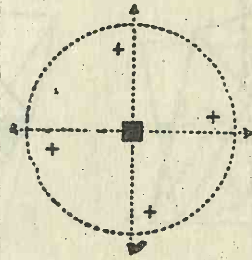


Fig. 180 e

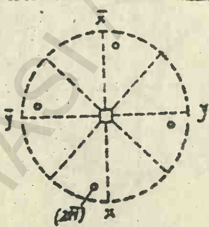


Fig. 180 c

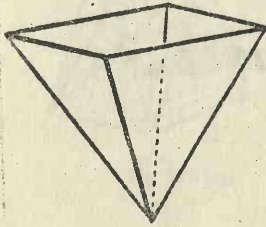


Fig. 180 b.

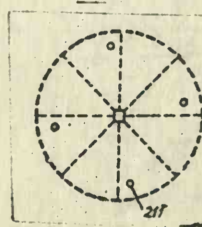


Fig. 180 a

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TETRAGONAL VII

CLASA GIROIDO-PLANALĂ

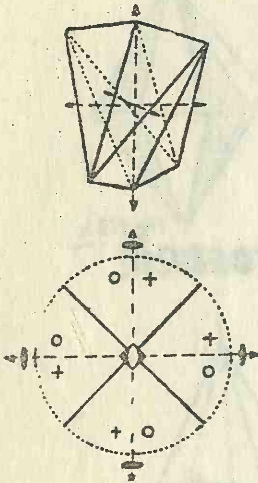


Fig. 181 b.

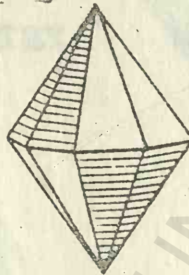


Fig. 181 a

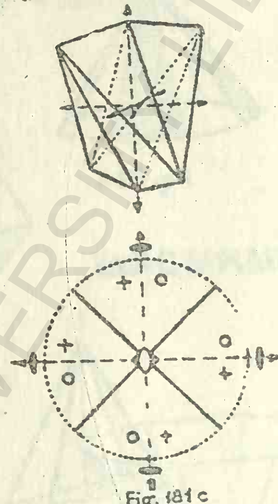


Fig. 181 c

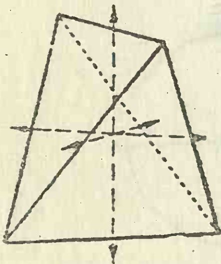


Fig. 182 a_1

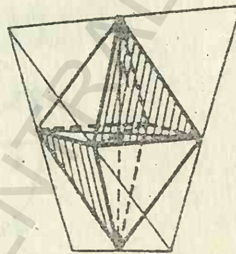


Fig. 182 b

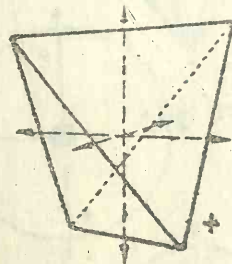


Fig. 182 c_1

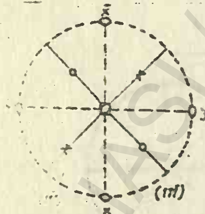


Fig. 182 a_2

HEMIEDRII

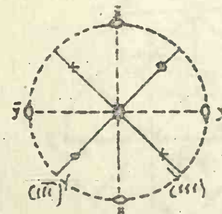
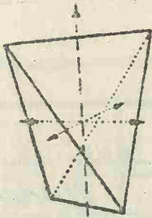


Fig. 182 c_2

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SISTEMUL TETRAGONAL **VIII** **CLASA GIROIDO-PRIMITIVĂ**



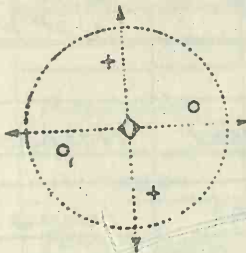


Fig. 183c

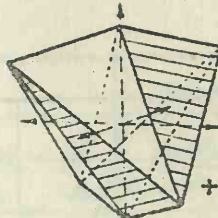


Fig. 183 d1

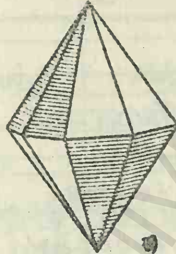


Fig. 183d2



Fig. 183e1

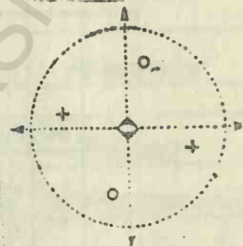


Fig. 183e2

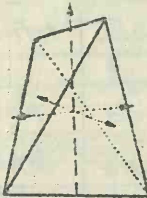


Fig. 183 f1



Fig. 183f2

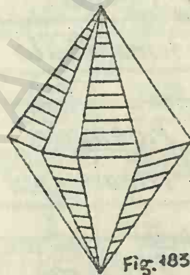


Fig. 183 g1

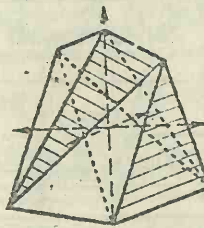
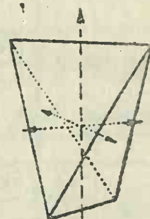


Fig. 183 g2



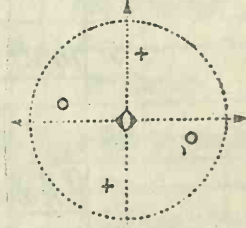


Fig. 183 h.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Formele simple din

Clasele de simetrie / Poziția și simbolul			Primitivă L^4	Centrică $L^4_{\pi} C$	Planală $L^4 - 2P\ 2P'$
1	(001)	(001)	Monoedru	Pinacoid	Monoedru
2	(110)	(110)	Prisma tetragonală sp I	Prisma tetragonală I	Prisma tetragonală I
3	(100)	(100)	Prisma tetragonală sp. II	prisma tetragonală II	Prisma tetragonală II
4	(hol)	(101)	Piramida tetragonală II	Bipiramida tetragonală II	Piramida Tetragonală II
5	(hhl)	(111)	Piramida tetragonală I	Bipiramida tetragonală I	Piramida tetragonală I
6	(hko)	(210)	Prisma tetragonală III	Prisma tetragonală III	Prisma ditetragonală
7	(hkl)	(211)	Piramida tetragonală III	Bipiramida tetragonala III	Piramida ditetragonală

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

sistemul tetragonal

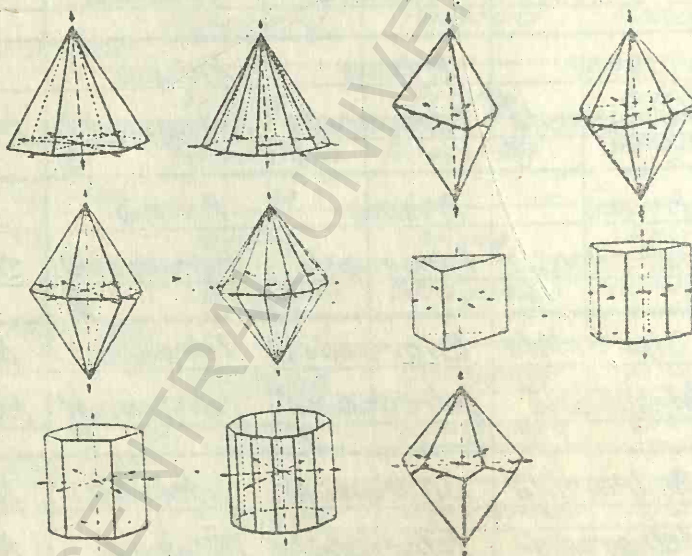
Axială	Planaxială	Giroido-primitivă	Giroido-planală	
$L^4\ 2L^2\ 2L'^2$	$L^4\ 2L^2\ 2L'^2\ \Pi\ 2P^2\ 2P'^2\ C$	L^2_4	$L^2_4\ 2L^2\ 2P$	
Pinacoid	Pinacoid	Pinacoid	Pinacoid	1
Prisma tetragonală I	Prisma tetragonală I	Prisma tetragonală I	Prisma tetragonală I	2
Prisma tetragonală II	Prisma tetragonală II	Prisma tetragonală II	Prisma tetragonală II	3
Bipiramida tetragonală II	Bipiramida tetragonală II	Tetraedru tetragonal II	Bipiramida tetragonală	4
Bipiramida tetragonală I	Bipiramida tetragonală I	Tetraedru tetragonal I	Tetraedru tetragonal I	5
Prisma ditetragonală	Prisma ditetragonală	Prisma tetragonală III	Prisma ditetragonală	6
Trapezoedru tetragonal	Bipiramida ditetragonală	Tetraedru tetragonal III	Scalenoedru ditetragonal	7

BCU Cluj / Central University Library

1.3. SISTEMUL H E X A G O N A L

Pentru deducerea formelor simple vom folosi aici grupa de 4 axe cristalografice şi deci vom considera relaţia axială $\alpha = \beta = \delta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$; a : a : a : c ,cu notaţia în indici Bravais.

Formele simple din sistemul hexagonal sînt analoge cu cele din sistemul tetragonal; şi aici avem forme enantiomorfe dreapta şi stînga,forme pozitive şi negative,forme de specia I,II şi III,forme hemimorfe,forme hemiedrice holoaxe, paramorfe şi antimorfe şi forme tetartoedrice.



FORMELE SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL

a. <u>Clasa planaxială,</u> cu formula de simetrie :

$\frac{L^6}{\Pi}\ \frac{3L^2}{3P^2}\ \frac{3L'^2}{3P'^2}\ C$, dă,în proiecţia stereografică,fig.184,de-

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

asemenea triunghiuri sferice elementare, față de care se pot stabili cele 7 poziții pentru fețele generatoare.

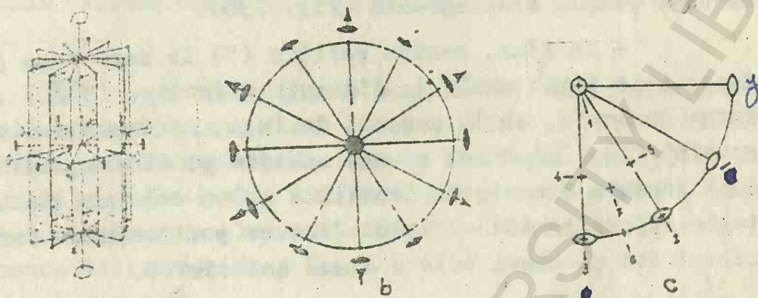


Fig.184

- Pentru poziția (1), fața generatoare perpendiculară pe $z\ \bar{z}$ și paralelă cu axele orizontale, (0001), rezultă un pinacoid (fig. 185).

- Pentru poziția (2) în care fața generatoare este paralelă atît cu $z\ \bar{z}$, cît și cu $y\ \bar{y}$, tăind la distanțe egale pe x și $\bar{u}$, $(10\bar{1}0)$, va rezulta o prismă hexagonală de specia I (fig.186).

- Pentru poziția (3), în care fața generatoare este paralelă cu $z\ \bar{z}$ și taie axele $\bar{y}$ și $\bar{u}$ la distanțe egale, iar axa x la distanță diferită, $(2\bar{1}\bar{1}0)$, va rezulta o prismă hexagonală de specia II (fig.187).

- Pentru poziția (4) în care fața generatoare taie axa z și taie de asemenea axele $\bar{y}$ și $\bar{u}$ la distanțe egale, iar pe x la distanță diferită, $(2\bar{1}\bar{1}1)$, va rezulta o bipiramidă hexagonală de specia II (fig.188).

- Pentru poziția (5) în care fața generatoare taie axa z și taie de asemenea axele x și $\bar{u}$ la distanțe egale, fiind paralelă însă cu $y\bar{y}$, $(10\bar{1}1)$, rezultă o bipiramidă hexagonală de specia I, (fig. 189).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- Pentru poziţia (6) în care faţa generatoare este paralelă cu z $\bar{z}$ şi taie cele trei axe orizontale la distanţe diferite, $(3\bar{1}\bar{2}0)$, rezultă o prismă cu 6 perechi de feţe diedre, prisma dihexagonală (fig. 190).

- In fine, pentru poziţia (7) în care faţa generatoare taie toate axele la distanţe diferite, $(3\bar{1}\bar{2}1)$, rezultă forma generală, cu 12 perechi de feţe, bipiramida dihexagonală (fig.191).Clasa se mai numeşte şi dihexagonalbipiramidală.Formele din clasa planaxială avînd cele mai multe feţe, toate feţele posibile pentru fiecare poziţie,sînt forme holoedrice şi clasa este o clasă holoedrică.

b. <u>In clasa axială</u> sau holoaxă, cu formula de simetrie $\underline{L}^6\underline{3}L^2\underline{3}L'^2_-$ ca şi în clasele axiale anterioare, vom avea o singură formă caracteristică, forma generală, $\{hk\bar{i}l\}$, care este tot un trapezoedru ca şi în sistemul tetragonal, trapezoedrul hexagonal.

Şi trapezoedrul hexagonal este hemiedria formei generale holoedrice. Din bipiramida dihexagonală vor rezulta două forme hemiedrice corelate, enantiomorfe: trapezoedrul hexagonal drept, $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$ dr. şi trapezoedrul hexagonal stîng, $\{\bar{3}\bar{1}\bar{2}1\}$ st., (fig.192).

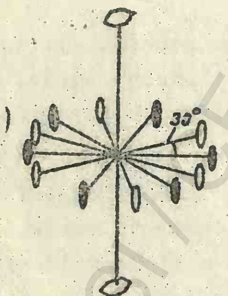


Fig.192_1


Fig.192_2

Pentru celelalte poziţii, corespund aceleaşi forme ca şi în clasa planaxială, cu corectivul arătat, în ceea ce priveşte simetria.

c. <u>Clasa centrică</u>, cu formula de simetrie $\frac{L^6}{\pi}C$, nu va avea forme noi;doar pentru poziţiile (6) şi (7) vor rezulta forme de specia a III-a.

- In poziţia (6) va rezulta prisma hexagonală de specia III-a pozitivă, $\{3\bar{1}\bar{2}0\}$ + şi în poziţia alternă, prisma alternă, prisma hexagonală de specia III-a negativă $\{3\bar{2}\bar{1}0\}$ - (fig. 193).

- In poziţia (7) vor rezulta tot două forme corelate: bipiramida hexagonală de specia III pozitivă, $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$ + şi bipiramida hexagonală de specia III negativă, $\{3\bar{2}\bar{1}1\}$- (fig.194). Acestea sînt hemiedrii ale formei generale holoedrice, bipiramida dihexagonală şi dau denumirea clasei; hexagonalbipiramidală.

Toate formele din clasa centrică vor fi paramorfe, iar clasa este o clasă parahemiedrică.

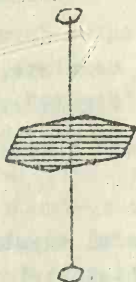


Fig. 193$_1$

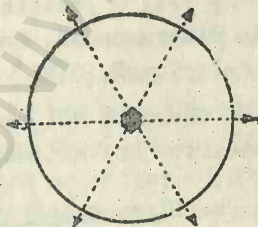


Fig. 193$_2$

d. - <u>In clasa planală</u> cu formula de simetrie $L^6\ \frac{-}{3P}\ \frac{-}{3P'}$ (fig.195) vom avea, ca şi la sistemul tetragonal, o serie de forme hemimorfe.

- In poziţia (1) va exista o formă simplă, deschisă, monoedrul sau pedionul, compus dintr-o singură faţă, faţa generatoare, (0001) care nu are după ce se repeta cu forme corelate.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

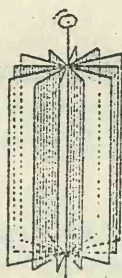


Fig.195a

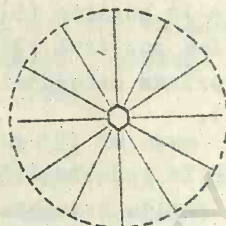


Fig.195b

- Pentru poziţia (4), va rezulta o piramidă hexagonală de specia II-a (fig. 196).

- Pentru poziţia (5), va rezulta o piramidă hexagonală de specia I (fig. 197), cu 2 forme corelate.

- Pentru poziţia (7), va rezulta forma generală, piramida dihexagonală, în două forme corelate, una superioară şi una inferioară, {3$\bar{1}\bar{2}$1} şi {3$\bar{1}\bar{2}\bar{1}$}. (fig.198).

Clasa se mai numeşte şi clasă dihexagonalpiramidală, antihemiedrică sau antimorfă după L^6.

e. Clasa primitivă cu singurul element de simetrie L^6, nu are forme noi, dar forma rezultată prin repetarea feţei generatoare din poziţia (7) generală, este o piramidă hexagonală de specia III-a, {hk$\bar{i}$l}.

Ea poate fi privită ca hemiedria piramidei dihexagonale sau ca tetartoedria bipiramidei dihexagonale. Există deci 4 forme corelate, piramide hexagonale de specia III-a, două superioare (dr. şi st.) şi două inferioare (dr. şi st.), (fig. 199).

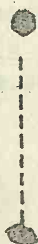


Fig.199₁

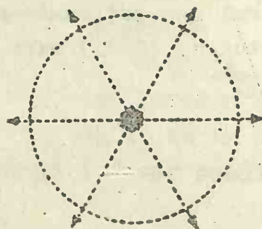


Fig.199₂

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

f. Clasa giroido-planală cu formula de simetrie

$L_{6i}^{3}\ 3L^{2}$ - - 3P - sau $L^{3}\ 3L^{2}$ - are următoarele forme:
π - 3P -

-Pentru poziţia (2), o prismă trigonală de specia I, $\{11\bar{2}0\}$, (fig.200).

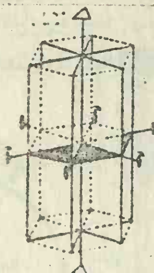


Fig. 200₁

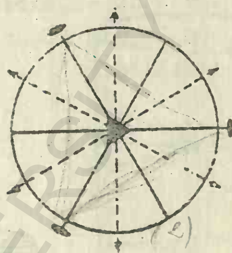


Fig. 200₂

- Aceste forme trigonale apar ca hemiedrii ale formelor holoedrice hexagonale şi se prezintă deci în cîte două forme corelate: Prisma trigonală din poziţia (2) este o prismă posterioară (fig.201 c) şi este corelată cu prisma din poziţia ($\bar{2}$)- opusă-, care este prisma anterioară (fig.201 a). La fel se întîmplă cu bipiramidele trigonale corespunzătoare din poziţiile 5 (fig.201 d) şi $\bar{5}$ (fig.201 b).

Toate formele trigonale ca hemiedrii ale formelor holoedrice hexagonale şi se prezintă deci în cîte două forme corelate, una pozitivă şi una negativă.

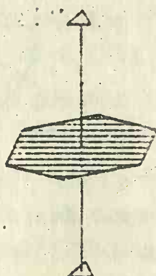
- Pentru poziţia (6) corespund două forme corelate cu aceiaşi indici pentru axele orizontale, dar care au feţele paralele cu axa z $\bar{z}$: prisma ditrigonală pozitivă $\{3\bar{1}\bar{2}0\}$+ şi prizma ditrigonală negativă $\{2131\}$ - (fig.204).

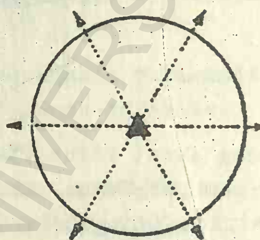
- Pentru poziţia (7) se formează o bipiramidă ditrigonală, care este forma generală şi caracteristică a clasei, $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$+ , cu forma corelată, bipiramida ditrigonală, $\{2131\}$ - . Ambele forme sînt hemiedrii ale bipiramidei dihexagonale, forma holoedrică (fig. 205).

Clasa se numeşte ditrigonalbipiramidală.

8. Clasa giroido-primitivă.

In clasa giroido-primitivă, cu formula de simetrie $L^{3}_{6i} = \frac{L^{3}}{\Pi}$, nu avem forme noi dar, în pozițiile 6 și 6′ apar 4 prisme trigonale de specia a III-a iar forma generală, din poziția (7) este o bipiramidă trigonală de specia a III-a, care apare ca o hemiedrie a bipiramidei ditrigonale din clasa giroido-planală. Sînt două forme hemiedrica corelate:


Fig. 206₁


Fig. 206₂

- forma posterioară stîngă, pozitivă și negativă;
- forma anterioară dreaptă, pozitivă și negativă

(fig. 206).

De asemenea în poziția (2) se formează prisma trigonală de specia a II-a în formele corelate, dreaptă și stîngă (fig. 201 b), iar în poziția (5), bipiramida trigonală de specia a II-a, tot în formele corelate, dreaptă și stîngă (fig. 202).

La rîndul său, bipiramida ditrigonală, fiind hemiedria bipiramidei dihexagonale, are și ea două forme corelate: forma $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$ din care au derivat cele două bipiramide trigonale de specia a III-a, $\{\bar{1}21\}$ și $\{3\bar{2}\bar{1}1\}$ și forma $\{21\bar{3}1\}$, din care putem deriva alte două bipiramide trigonale de specia a III-a, $\{21\bar{3}1\}$ și $\{12\bar{3}1\}$.

Cele patru forme corelate, bipiramidele trigonale $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$, $\{3\bar{2}\bar{1}1\}$, $\{21\bar{3}1\}$ și $\{12\bar{3}1\}$, apar ca tetartoedrii ale bipiramidei dihexagonale, care se poate reconstitui prin asocierea lor. Clsa se cheamă trigonal bipiramidală.

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL I

CLASA PLANAXIALĂ

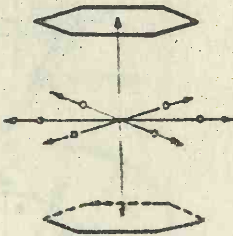


Fig. 185

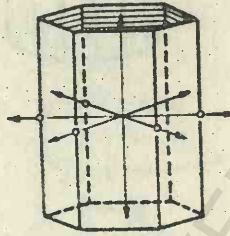


Fig. 186_1

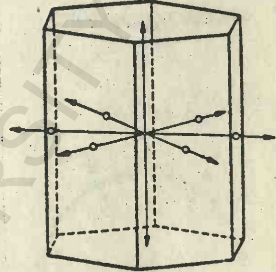


Fig. 187_1

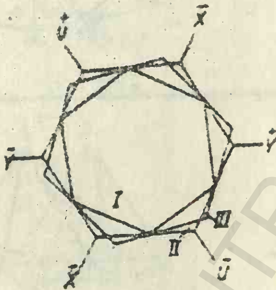


Fig. 185 b

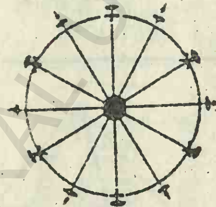


Fig. 186_2

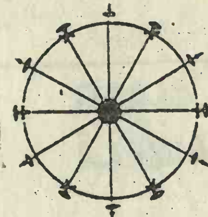


Fig. 187_2

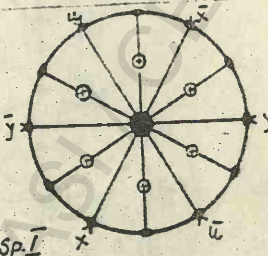


Fig. 189

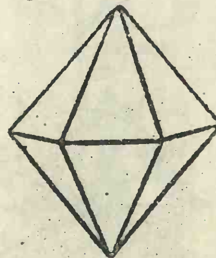


Fig. 188_1

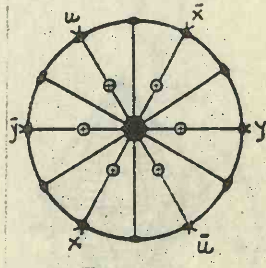


Fig. 188_2

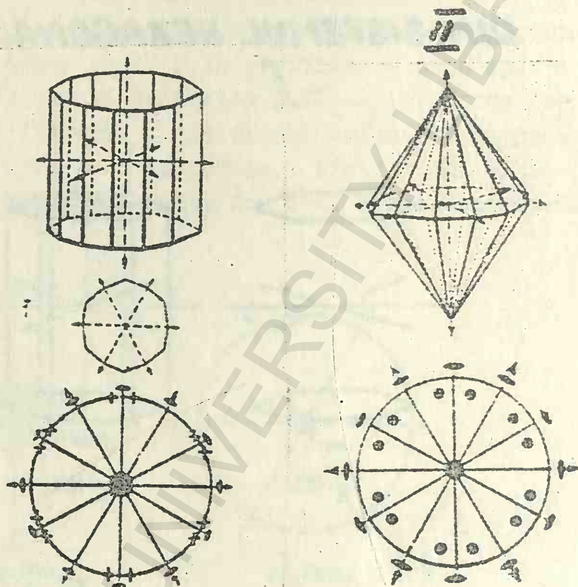
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL

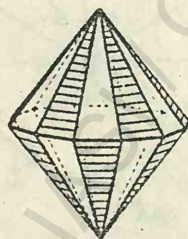
II

CLASA PLANAXIALÀ

-CONTINUARE-



CLASA AXIALÀ


Fig. 192a

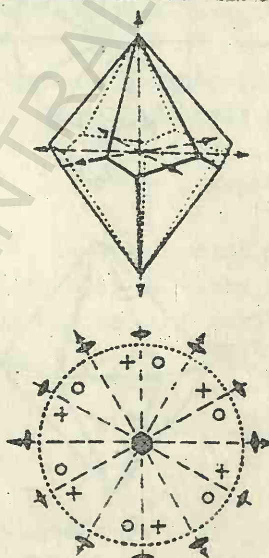


Fig. 192 b

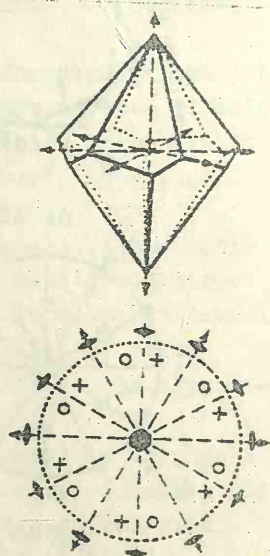


Fig. 192c

BCU IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SISTEMUL HEXAGONAL III CLASA CENTRICĂ

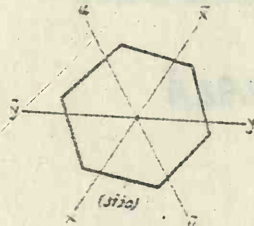


Fig. 193-4a

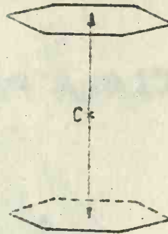


Fig. 193c

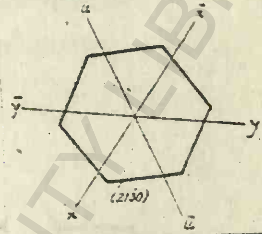


Fig. 193-4b

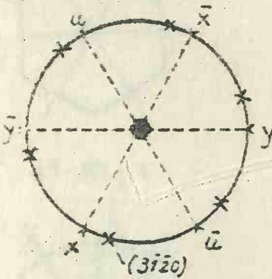
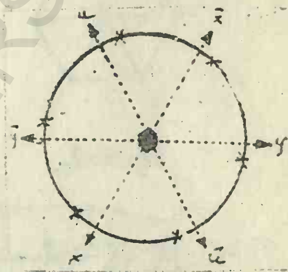
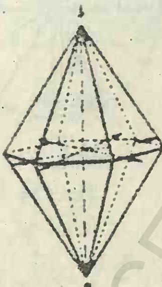
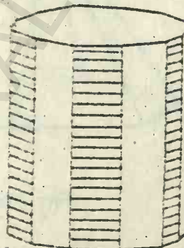


Fig. 193a


Fig. 193


Fig. 193b


Fig. 194a₁


Fig. 193 a, b

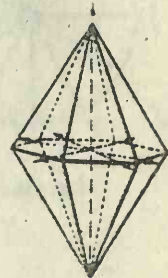
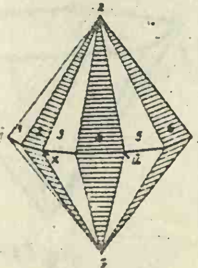
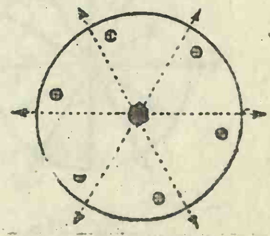

Fig. 194b₁


Fig. 194a₂


Fig. 194 a, b


Fig. 194 b2

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL IV

CLASA PLANALĂ

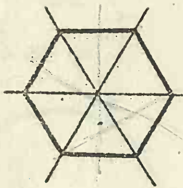


Fig.196-7a.

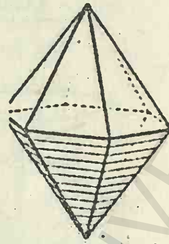


Fig.196-7

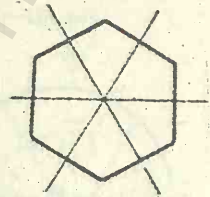


Fig.196-7 b

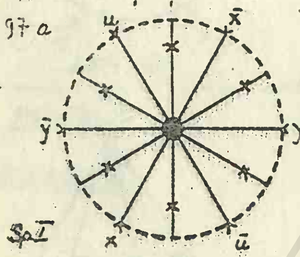


Fig.196 a

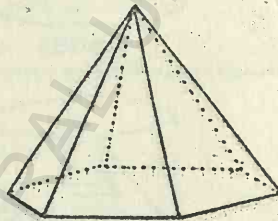


Fig.196

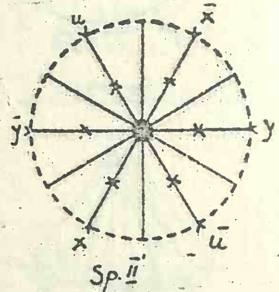


Fig.196 b.

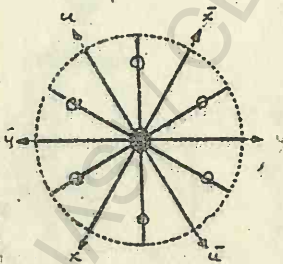


Fig.197a

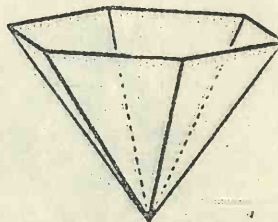


Fig.197

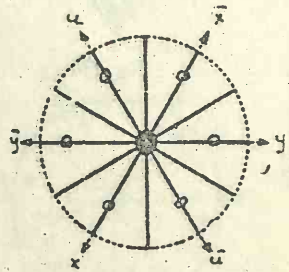


Fig.197 b.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL

CLASA PLANALĂ

$\bar{V}$

-CONTINUARE-

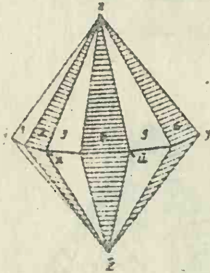


Fig. 198

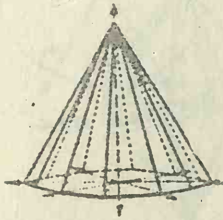


Fig. 198 b

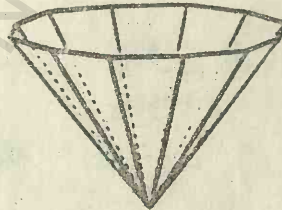


Fig. 198 b1

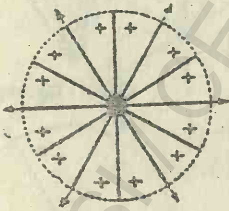


Fig. 198 a

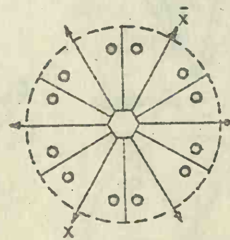


Fig. 198 b2

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL

CLASA PRIMITIVĂ

VI

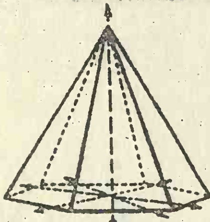
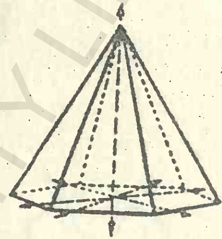


Fig. 199 c_1



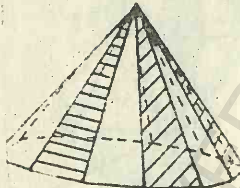


Fig. 199 c_3

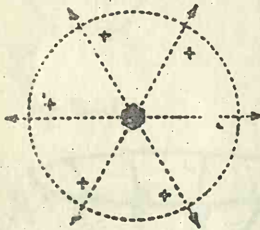


Fig. 199 c_2

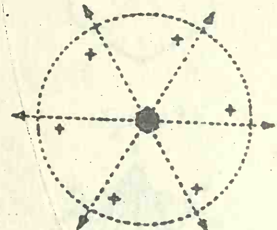


Fig. 199 d_1

Fig. 199 a

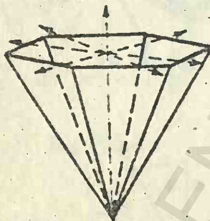


Fig. 199 b_1

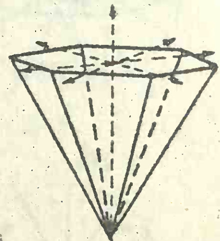


Fig. 199 d_2

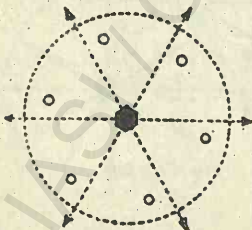


Fig. 199 b_2

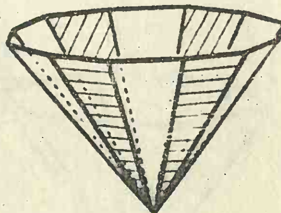


Fig. 199 c_4

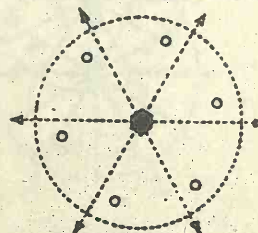
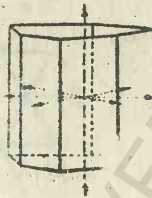


Fig. 199 d_3

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE
DIN SISTEMUL HEXAGONAL VII
CLASA GIROIDO-PLANALĂ
-continuare-





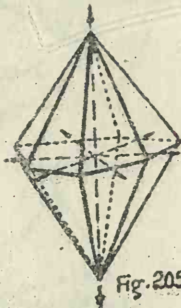


Fig. 205 a_1

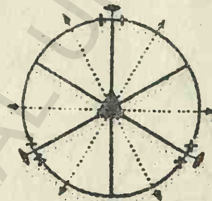


Fig. 204

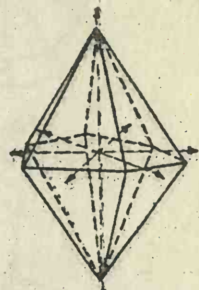


Fig. 205 b

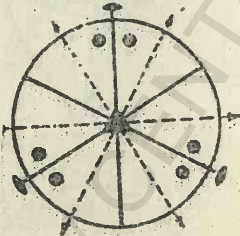


Fig. 205 a_2

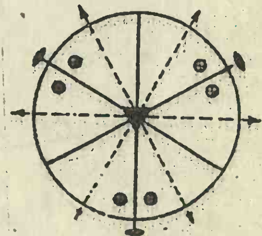


Fig. 205 b_2

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SISTEMUL HEXAGONAL

VIII CLASA SIROIDO-PLANALA

SPECIA I

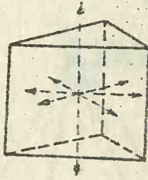


Fig. 201a

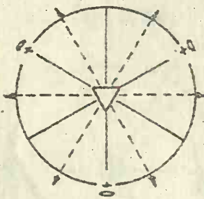


Fig. 201 b

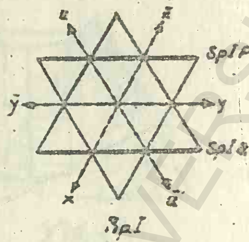


Fig. 202

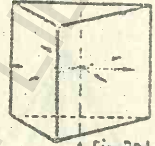


Fig. 201d





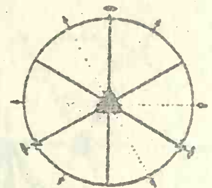


Fig. 201c



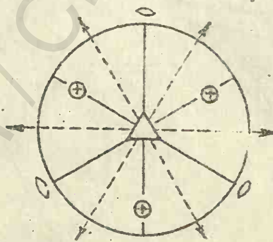
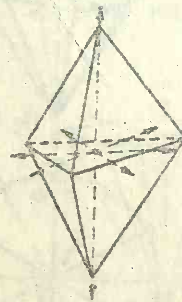


Fig. 203 b.



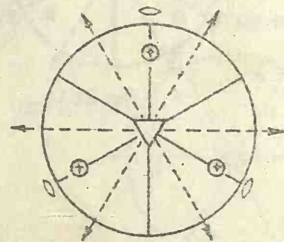
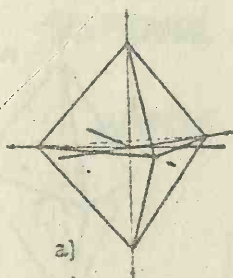


Fig. 203a

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SISTEMUL HEXAGONAL **IX** **CLASA GIROIDO-PRIMITIVĂ**

SPECIA II



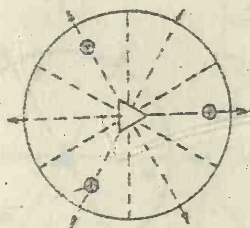
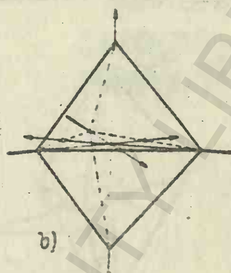


Fig. 206 a



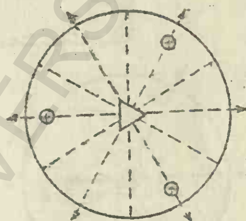


Fig. 206 c

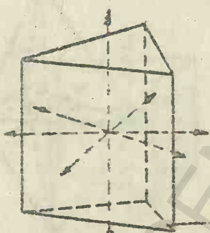
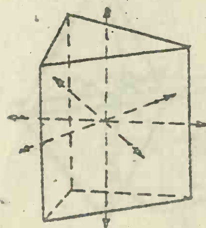




Fig. 206 b



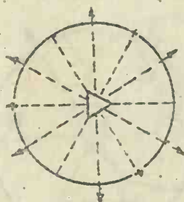


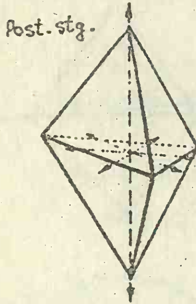
Fig. 206 d

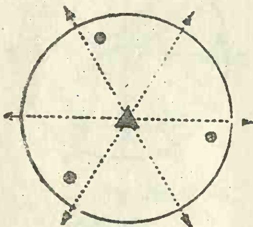
FORME SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL

CLASA GIROIDO-PRIMITIVĂ

X̄

SPECIA III-a




Fig. 207a

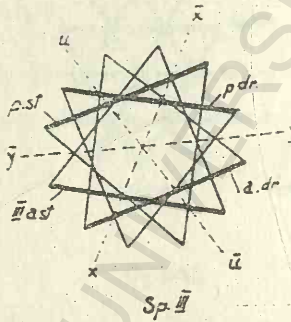
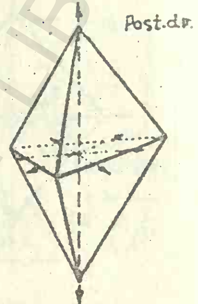
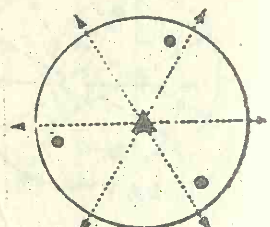
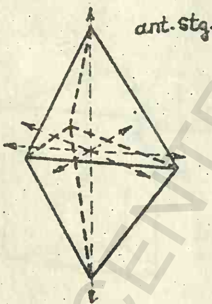
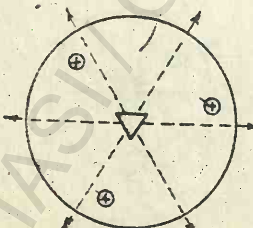


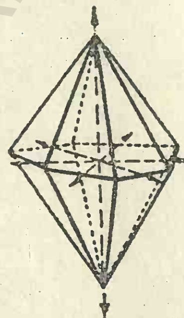
Fig. 207 e



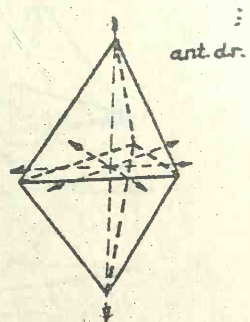

Fig. 207c

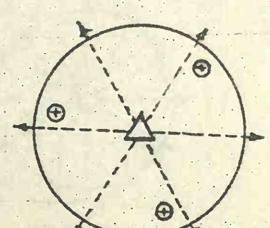



Fig. 207 b.


Fig. 207 f

HEMIEDRII



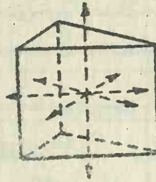

Fig. 207 d

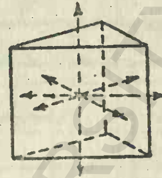
FORME SIMPLE DIN SISTEMUL HEXAGONAL

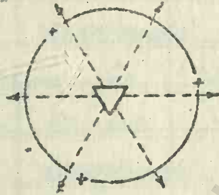
XI

CLASA GIROIDO-PRIMITIVĂ

SPECIA III-a









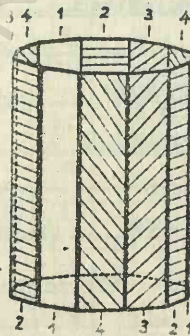
SP III Ant. stg.

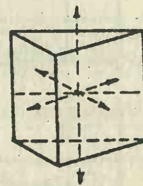
Fig. 207 g.

SP. III Ant. dr.

Fig. 207 i







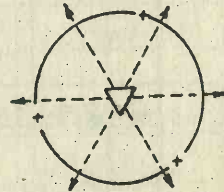


SP III Post. stg.

Fig. 207 h

Fig. 207 k

HEMIEDRII



SP. III Post. dr.

Fig. 207 j

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Formele simple din

Clasele de simetrie / Poziția și simbolul			Primitivă	Centrică	Planală
			L^6	$\frac{L^6}{\Pi} C$	L^6 $3P$ $3P'$
1	(0001)	(0001)	Monoedru	Pinacoid	Monoedru
2	$(10\bar{1}0)$	$(10\bar{1}0)$	Prisma hexagonală I	Prisma hexagonală I	Prisma hexagonală I
3	$(2\bar{1}\bar{1}0)$	$(2\bar{1}\bar{1}0)$	Prisma hexagonală II	Prisma hexagonală II	Prisma hexagonală II
4	$(2h\bar{h}\bar{h})$	$(2\bar{1}\bar{1}1)$	Piramida hexagonală II	Bipiramida hexagonală II	Piramida hexagonală II
5	$(h0\bar{h}l)$	$(10\bar{1}1)$	Piramida hexagonală I	Bipiramida hexagonală I	Piramida hexagonală I
6	(hkio)	$(3\bar{1}\bar{2}0)$	Prisma hexagonală III	Prisma hexagonală III	Prisma dihexagonală
7	(hkil)	$(3\bar{1}\bar{2}1)$	Piramida hexagonală III	Bipiramida hexagonală III	Piramida dihexagonală

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

sistemul hexagonal

Axială	Planaxială	Giroido-primitivă	Giroido-planală	
$L^6\ 3L^2\ 3L'^2\ -$ $-\ -\ -$	$L^6\ 3L^2\ 3L'^2$ $\pi\ 3P^2\ 3P'^2\ C$	$L^3_{6i} \equiv \frac{L^3}{\pi}$	$L^3_{6i}\ 3L^2\ -\ -$ $-\ -\ 3P$	
Pinacoid	Pinacoid	Pinacoid	Pinacoid	1
Prisma hexagonală I	Prisma hexagonală I	Prisma trigonală I	Prisma hexagonală I	2
Prisma hexagonală II	Prisma hexagonală II	Prisma trigonală II	Prisma trigonală II	3
Bipiramida hexagonală II	Bipiramida hexagonală II	Bipiramida trigonală II	Bipiramida trigonală II	4
Bipiramida hexagonală I	Bipiramida hexagonală I	Bipiramida trigonală I	Bipiramida hexagonală I	5
Prisma dihexagonală	Prisma dihexagonală	Prisma trigonală III	Prisma ditrigonală	6
Trapezoedru hexagonal	Bipiramida dihexagonală	Bipiramida trigonală III	Bipiramida ditrigonală	7

1. 4. SISTEMUL TRIGONAL

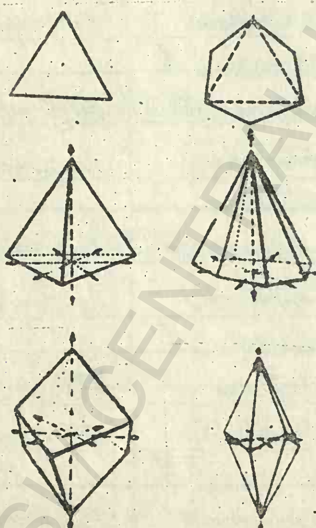
Plecînd de la același sistem de patru axe cristalografice (x,y,u și z) ca și în sistemul hexagonal,vom folosi pentru notație tot indicii Bravais.

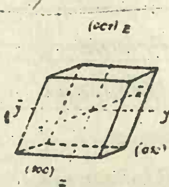
Multe forme din sistemul trigonal apar ca meriedrii ale formelor din sistemul hexagonal.Formele cu secțiune ditrigonală apar sau ca hemiedrii ale formelor hemimorfe dihexagonale,ca tetartoedrii ale formelor holoedrice dihexagonale, sau ca hemimorfii ale formelor ditrigonale din clasa giroido-planală.

Formele cu secțiune trigonală apar ca hemiedrii sau tetartoedrii ale formelor ditrigonale și ca tetartoedrii sau ogtoedrii ale formelor dihexagonale,

In sistemul trigonal se găsește cea mai variată gamă de forme corelate: forme drepte și forme stîngi;forme de specia I,II și III-a; forme anterioare și posterioare; forme hemimorfe superioare și inferioare; forme pozitive și forme negative.

Ca în toate clasele din categoria mijlocie de singonii, și aici,în clasa axială se găsește un trapezoedru,trapezoedrul trigonal.





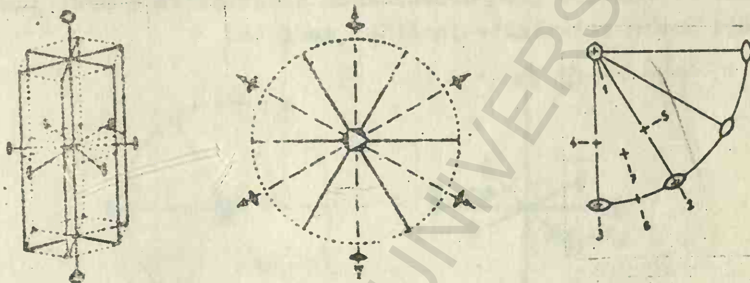
FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

a. <u>In clasa planaxială</u> cu formula $L_6^3 \begin{matrix} 3L^2 \\ 3P^2 \end{matrix} C$,

forme noi apar numai în pozițiile (5) și (7).

In poziția (5), pentru fața generatoare $(10\bar{1}1)$ se formează un romboedru de specia I-a pozitiv, care are ca formă corelată romboedrul negativ, $\{10\bar{1}\bar{1}\}$ -. Ambii, sînt hemiedrii ale bipiramidei hexagonale de specia I, $\{10\bar{1}1\}$, la care s-au dezvoltat alternativ cîte trei fețe sus și trei fețe jos (fig.208).



- Pentru o față generatoare din poziția (7), rezultă forma generală, $\{hk\bar{i}l\}$, cu trei perechi de fețe sus și trei perechi de fețe jos, în formă de triunghiuri scalene, scalenoedrul ditrigonal, în două forme corelate: scalenoedrul ditrigonal pozitiv, $3\bar{1}21$ + și scalenoedrul ditrigonal negativ, $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$ - (fig. 209).

Acestea apar ca hemiedrii ale bipiramidei dihexagonale și dau denumirea clasei, care se mai numește clasa ditrigonal scalenoedrică.

In celelalte poziții apar forme deja cunoscute de la sistemul hexagonal, dar cu particularități ale fețelor care le reduce simetria: în poziția (2), prizma hexagonală de specia I, în poziția (3), prizma hexagonală de specia II-a, în poziția (4), bipiramida hexagonală de specia II-a, în poziția (6), prisma dihexagonală.

Clasa se numește, după forma generală, clasă ditrigonal scalenoedrică.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

b. <u>In clasa axială</u> cu formula de simetrie $\underline{L}^3\ 3\underline{L}^2$ ca şi în clasele axiale anterioare din categoria mijlocie de singonii, apare o singură formă nouă, caracteristică şi anume tot un trapezoedru, trapezoedrul trigonal.

Trapezoedrul trigonal care este forma generală, rezultă pe baza feţei generatoare din poziţia (7), $(hk\bar{i}l)$ şi se prezintă în două forme enantiomorfe; una dreaptă, $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$ şi una stîngă, $\{3\bar{2}\bar{1}1\}$, (fig.210).

Acestea sînt hemiedrii ale scalenoedrului ditrigonal, rezultate prin dezvoltarea alternativă a unei jumătăţi sau a celeilalte jumătăţi de feţe.

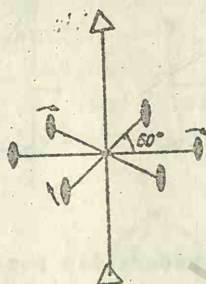
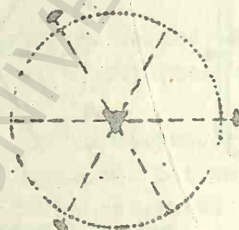


Fig.210$_1$


Fig.210$_2$

După cum am văzut, la rîndul său, scalenoedrul ditrigonal apare ca hemiedrie a bipiramidei dihexagonale şi prezintă două forme corelate, una pozitivă, cea considerată anterior şi alta negativă. Şi din forma negativă rezultă doi trapezoedri, unul drept, $\{21\bar{3}1\}$ şi unul stîng, $\{21\bar{3}1\}$.

Trapozoedrul trigonal apare deci şi ca tetartoedria bipiramidei dihexagonale. Fiind forma generală, dă denumirea clasei care se numeşte şi trigonal trapezoedrică.

c. <u>In clasa centrică</u>, cu formula de simetrie $L_6^3\ C$ nu apar forme noi, dar forma generală, rezultată prin repetarea feţei generatoare din poziţia (7) este un romboedru de specia III-a .

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

El apare în două forme corelate, forma pozitivă, $\{3\bar{1}\bar{2}1\}$. + şi forma negativă, $\{12\bar{3}1\}$- , ca hemiedrii ale bipiramidei hexagonale de specia III-a (fig.211).

- In poziţia (4) se găseşte romboedrul de specia II-a cu forma pozitivă, $\{2\bar{1}\bar{1}1\}$+ şi negativă, $\{11\bar{2}1\}$-.

După forma generală clasa se numeşte clasa romboedrică.

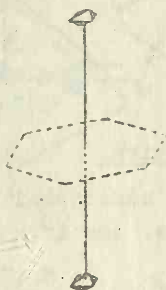


Fig.211₁



Fig.211₂

d. <u>In clasa planală</u> cu formula de simetrie

$\underline{L^3}$ $\underline{3P}$ - se găsesc, ca şi în celelalte clase planale din categoria mijlocie de singonii, forme hemimorfe.

- In poziţia (5) de ex. se găseşte o faţă generatoare care, repetată conform simetriei, dă naştere unei piramide trigonale de specia I-a cu formele corelate, pozitivă, $\frac{1}{2}\{10\bar{1}1\}$ + şi negativă, $\frac{1}{2}\{01\bar{1}1\}$-

(fig. 212).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Pentru poziția generală (7) corespunde o piramidă care apare ca hemiedrie hemimorfă a bipiramidei ditrigonale, așa că are toate formele corelate corespunzătoare, așa cum se poate vedea din figura 213.

Clasa se numește clasă ditrigonal piramidală.

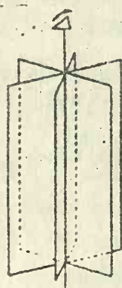


Fig. 211₁

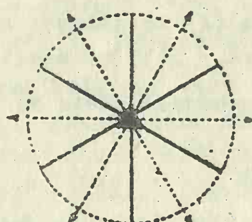


Fig. 211₂

e. Clasa primitivă.

In clasa primitivă a sistemului trigonal care nu are de cît un element de simetrie: axa L^3, nu apar forme noi.





- In pozițiile (4) și (5) pot fi semnalate piramidele trigonale de specia I și II, cu formele corelate superioare, respectiv inferioare, pozitive și negative (fig. 214). Ele apar ca hemiedrii ale bipiramidelor trigonale de specia I și II.

- In poziția (7) se găsește forma generală $\{hk\bar{i}l\}$, care este o piramidă trigonală de specia III, cu forme corelate superioare și inferioare, pozitive și negative, drepte și stîngi. Ele apar ca hemiedrii ale piramidei ditrigonale sau ca tetartoedrii ale piramidei dihexagonale. Mai pot fi considerate ca forme ogdoedrice ale bipiramidei dihexagonale (fig. 215).

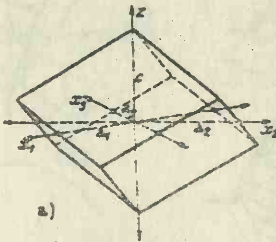
Clasa se numește clasă trigonal piramidală și - după cristalografii care unesc sistemele hexagonal și trigonal într-un singur sistem, romboedric, - aceasta ar fi o clasă ogdoedrică.

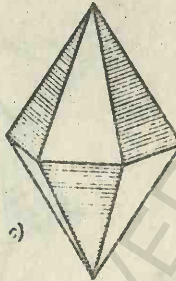
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL

CLASA PLANAXIALĂ

$\bar{I}$





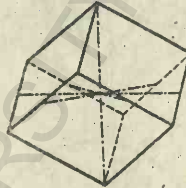
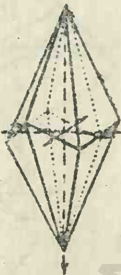


Fig. 208



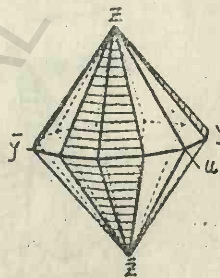


Fig. 209c

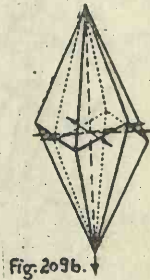


Fig. 209b.

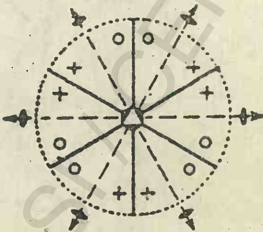


Fig. 209a

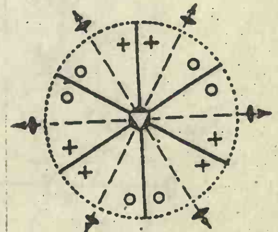


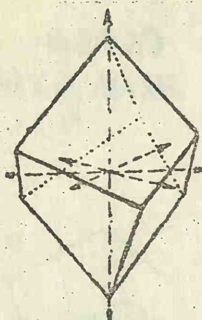
Fig. 209b₂

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL

II

CLASA AXIALĂ



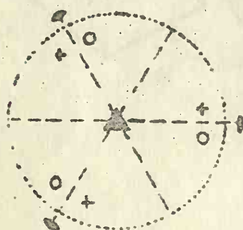
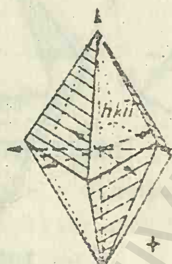


Fig. 210 a_1



(a)

Fig. 210 c_1

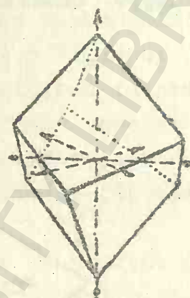




Fig. 210 b_1

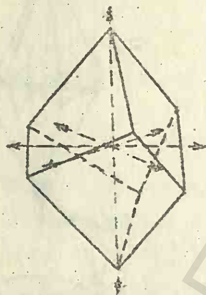
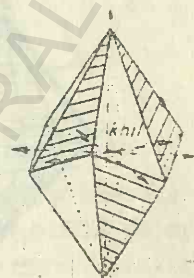




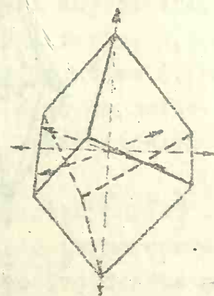
Fig. 210 a_2



(b)

Fig. 210 c_2

HEMIEDRII



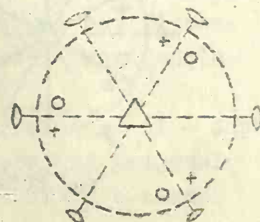
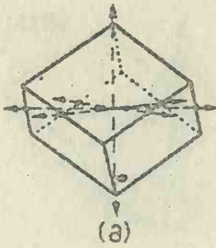
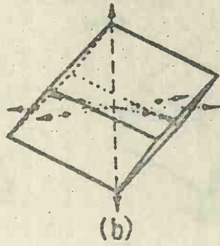


Fig. 210 b_2

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL III CLASA CENTRICĂ


(a)


(b)

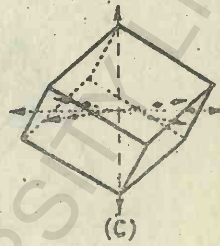
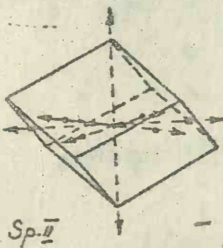

(c)

Fig. 211



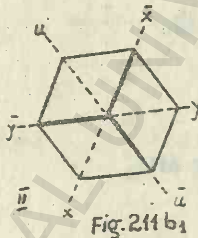


Fig. 211 b₁

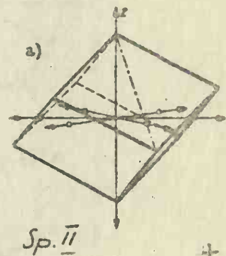


Fig. 211 c.

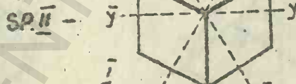




Fig. 211 a₁


Fig. 211 b₂

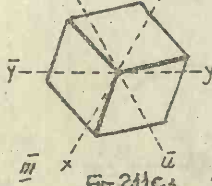


Fig. 211 c₁

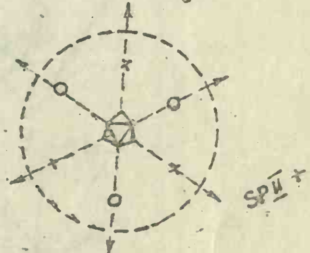


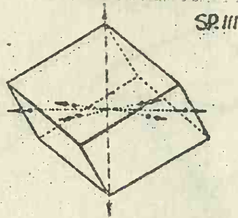
Fig. 211 b₃

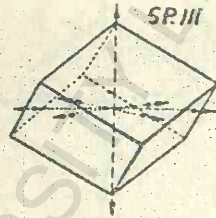
II -

SPECII

II +

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL IV CLASA CENTRICĂ.





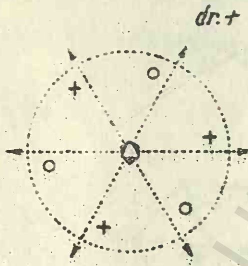


Fig. 211c2

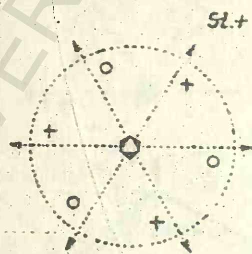
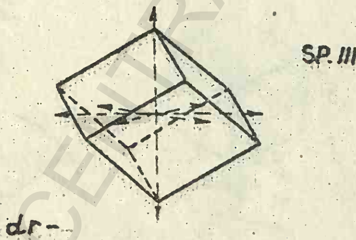
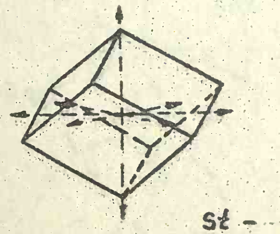


Fig. 211c3





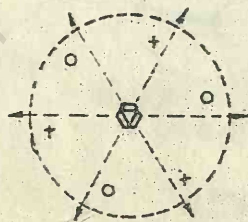


Fig. 211c4



Fig. 211c5

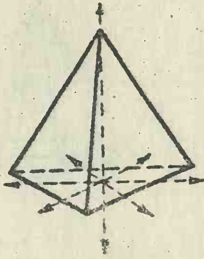
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL

$\bar{V}$

CLASA PLANALĂ

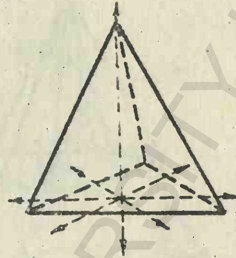
SPECIA I





S$\bar{I}$ p.s

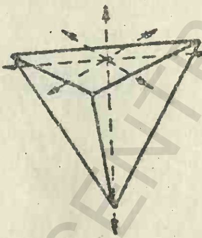
Fig. 212 a

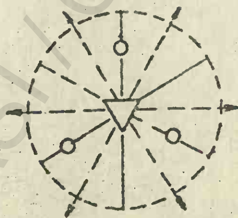




S$\bar{I}$ a.s.

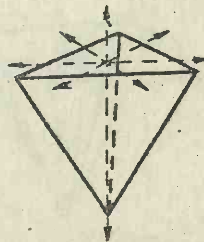
Fig. 212c

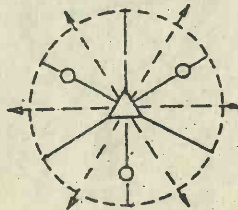




S$\bar{I}$ p.i

Fig. 212 b.





S$\bar{I}$ a.i.

Fig. 212 d

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL VI — CLASA PLANALĂ

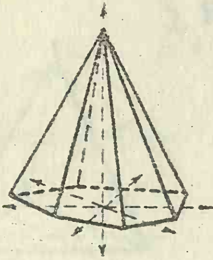
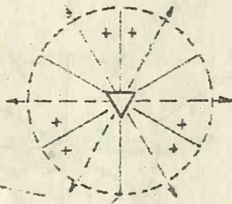



Fig. 213 a

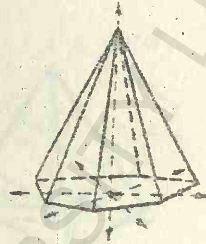



Fig. 213 c

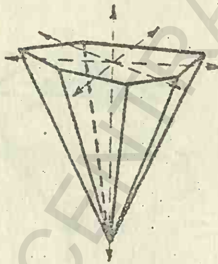



Fig. 213 b.

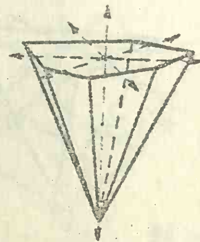
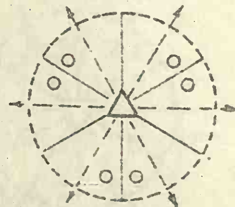



Fig. 213 d

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL — **VII** — **CLASA PRIMITIVĂ -1-**

SPECIA II-a

Sp. II st s

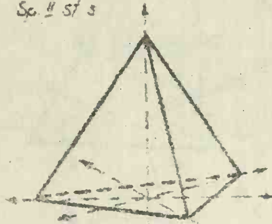


Fig. 214 a



Sp. II dr.s

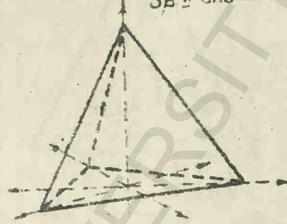


Fig. 214c



Sp. II st. i



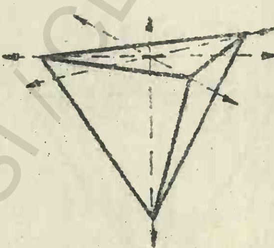
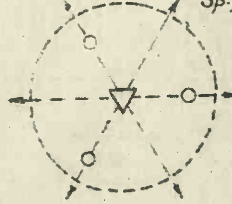


Fig. 214 b

Sp. II dr.i.



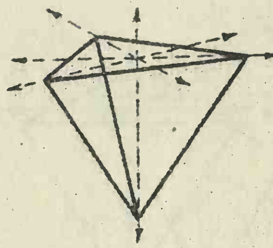


Fig. 214 d

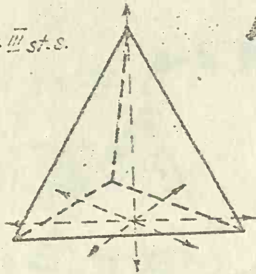
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL

CLASA PRIMITIVĂ -2-

VIII

SPECIA III-a



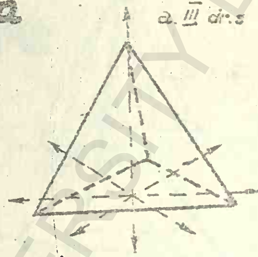


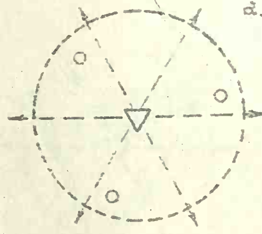


Fig. 214 g1



Fig. 214 L1





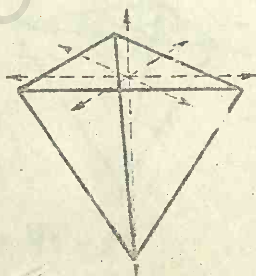


Fig. 214 j2

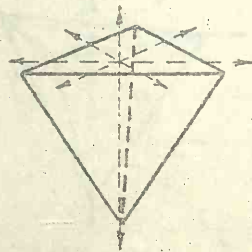


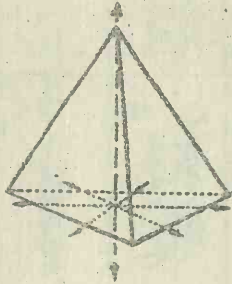
Fig. 214 L2

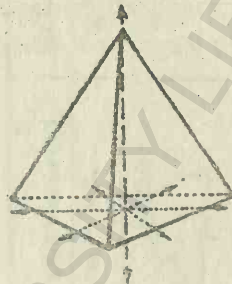
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRIGONAL

IX CLASA PRIMITIVĂ -3-

SPECIA III





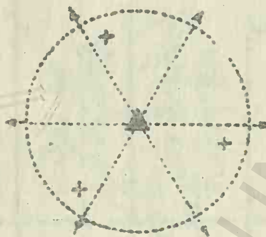
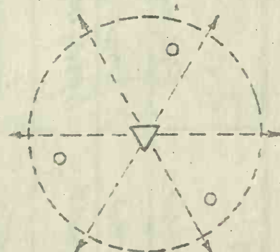


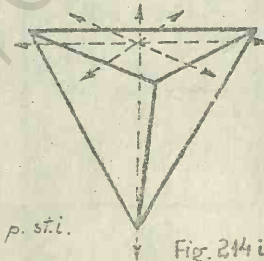
Fig. 214 f



Fig. 214 g.

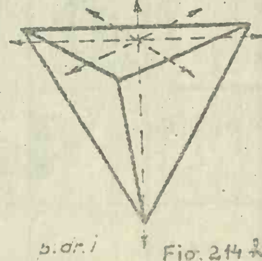






p. st. i.

Fig. 214 i



p. dr. i

Fig. 214 h

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Formele simple din sistemul trigonal

Clasele de simetrie / Poziția și simbolul			Primitivă L^3	Centrică $L^3_6\ C$	Planală $L^3\ -\ 3P$	Axială $L^3\ 3L^2$	Planaxială $L^3_6\ 3L^2\ 3P^2\ C$
1	(0001)	(0001)	Monoedru	Pinacoid	Monoedru	Pinacoid	Pinacoid
2	$(10\bar{1}0)$	$(10\bar{1}0)$	Prisma trigonală I	Prisma hexagonală I	Prisma trigonală I	Prisma hexagonală I	Prisma hexagonală I
3	$(2\bar{1}\bar{1}0)$	$(2\bar{1}\bar{1}0)$	Prisma trigonală II	Prisma hexagonală II	Prisma hexagonală II	Prisma trigonală II	Prisma hexagonală II
4	$(2h\bar{h}\bar{h}l)$	$(2\bar{1}\bar{1}1)$	Piramida trigonală II	Romboedrul II	Piramida hexagonală II	Bipiramida trigonală II	Bipiramida hexagonală II
5	$(h0\bar{h}l)$	$(10\bar{1}1)$	Piramida trigonală I	Romboedrul I	Piramida trigonală I	Romboedrul I	Romboedrul I
6	$(hk\bar{i}0)$	$(3\bar{1}\bar{2}0)$	Prisma trigonală III	Prisma hexagonală III	Prisma ditrigonală	Prisma ditrigonală	Prisma dihexagonală
7	$(hk\bar{i}l)$	$(3\bar{1}\bar{2}1)$	Piramida trigonală III	Romboedrul III	Piramida ditrigonală	Trapezoedru trigonal	Scalenoedru ditrigonal

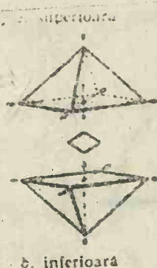
BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

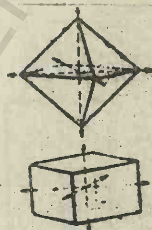
1. 5. SISTEMUL ROMBIC

Prin relația axială și simetrie, sistemul rombic prezintă mari asemănări cu sistemul tetragonal. De aceea are și forme simple foarte asemănătoare cu cele întîlnite în acest sistem.









FORMELE SIMPLE DIN SISTEMUL ROMBIC

a. Clasa planaxială.

Corespunzător formulei de simetrie în clasa planaxială se găsesc următoarele forme simple:

$$\begin{matrix} L^2 & L'^2 & L''^2 & C \\ P^2 & P'^2 & P''^2 & \end{matrix}$$

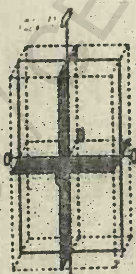


Fig. 216a

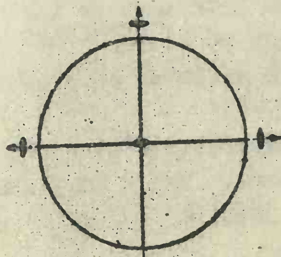


Fig. 216 a_2

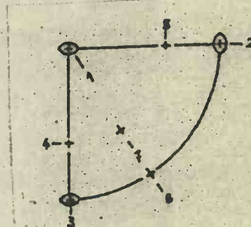


Fig. 216 a_3

- In poziția (6) se găsește prisma ortogonală cu secțiunea rombică, adică prisma rombică sau ortorombică, paralelă cu axa $z\bar{z}$ și notată $\{h\ k\ 0\}$.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- In poziţia (4) se găseşte de asemenea o prismă rombică, ale cărei feţe sînt paralele însă cu axa $y\bar{y}$, $\{h\,0\,l\}$ şi tot la fel, în poziţia (5) se găseşte o prismă rombică paralelă cu axa $x\bar{x}$, $\{0\,k\,l\}$, (fig.216).

In poziţiile (1),(2) şi (3) se găsesc pinacoizi, pe care i-am întîlnit şi în categoria mijlocie de singonii, respectiv, pinacoizii $\{001\}$ şi $\{100\}$. (fig.217)

- In poziţia (7) se găseşte forma generală, bipiramida rombică $\{h\,k\,l\}$, care dă şi denumirea clasei, clasa rombobipiramidală (fig.218).

b. Clasa planală.

Clasa planală a sistemului rombic, cu formula de simetrie $\frac{L^2}{-}\ \frac{-}{P}\ \frac{-}{P'}$, - are următoarele forme simple:

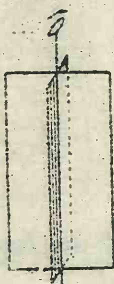

Fig.219₁


Fig.219₂

- In poziţia (1), o faţă care nu se mai repetă, un monoedru, cea mai simplă formă, care închide formele hemimorfe din categoria mijlocie şi inferioară de singonii şi este mai frecvent întîlnită la formele compuse din singoniile inferioare.

- In poziţiile (2) şi (3) se întîlnesc pinacoizi cu aceleaşi caractere.

In poziţia (4) se găseşte o formă simplă deschisă, compusă din două feţe care se intersectează după un unghi diedru diferit de 90°. Prin intersecţia feţelor trece un plan de simetrie şi forma se numeşte diedru planal sau domă (fig.219).

Acesta se mai numeşte şi diedru planal transversal. El prezintă două forme corelate: una superioară, $\frac{1}{2}\{101\}$ şi una inferioară, $\frac{1}{2}\{10\bar{1}\}$.

- Şi în poziţia (5) se găseşte tot un diedru planal, care are, însă, feţele paralele cu axa $x\bar{x}$, diedru planal longitudinal, ce se prezintă de asemenea în două forme corelate: una superioară, $\frac{1}{2}\{011\}$ şi una inferioară, $\frac{1}{2}\{01\bar{1}\}$, fig.220.

- In poziţia (6) se găseşte tot o prismă rombică, ca şi în clasa planaxială.

- In poziţia (7), forma generală şi caracteristică, este o formă hemimorfă, piramida rombică $\frac{1}{2}\{h\ k\ l\}$, care dă denumirea clasei: rombopiramidală.

Fiind hemiedria bipiramidei rombice, vor exista două forme corelate: piramida rombică superioară, $\frac{1}{2}\{111\}^{+}$ şi piramida rombică inferioară, $\frac{1}{2}\{11\bar{1}\}^{-}$ (fig.221).

c. Clasa axială.

Are formula de simetrie $\underline{L}^2\ \underline{L}'^2\ \underline{L}''^2$ -

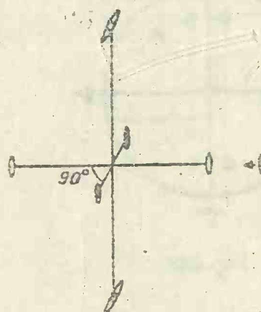
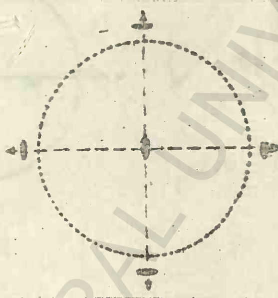


Fig.222₁


Fig.222₂

In această clasă, forma nouă este forma generală, din poziţia 7. Aceasta este o formă închisă cu 4 feţe şi anume un tetraedru a cărui secţiune este un romb, deci un tetraedru rombic.

Clasa se numeşte rombotetraedrică.

Tetraedrul rombic apare ca hemiedrie a bipiramidei rombice şi deci se prezintă în două forme corelate care sînt enantiomorfe: tetraedrul rombic drept $\{111\}$ dr. şi tetraedrul rombic stîng, $\{11\bar{1}\}$ stg. (fig.222).

Un diedru care admite o axă de simetrie se numeşte diedru axial. Tetraedrul rombic apare ca o pereche de asemenea diedri axiali care se închid unul pe altul.

Din cauză că diedrul axial se mai numeşte şi sfenoid, tetraedrul rombic se mai numeşte şi bisfenoid.

In celelalte poziţii nu apar forme noi, doar corelate.

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL ROMBIC
I

CLASA PLANAXIALĂ

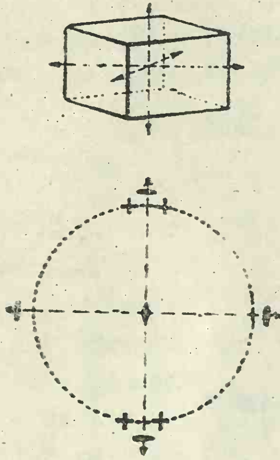


Fig. 216 a

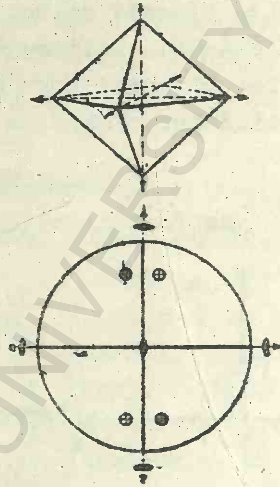
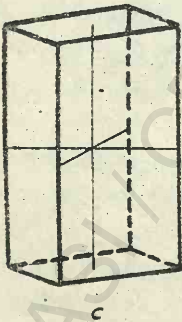
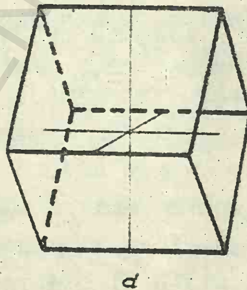


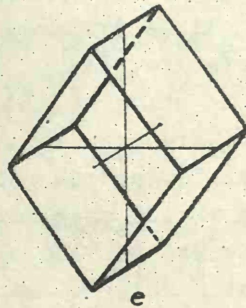
Fig. 218.



c



d



e

Fig. 216 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL ROMBIC

CLASA PLANAXIALĂ

II

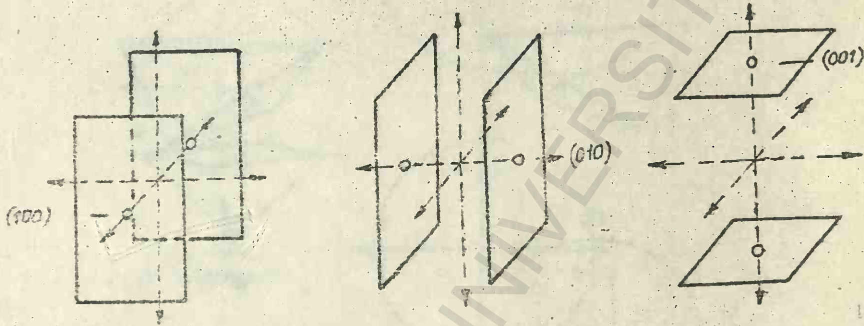


Fig. 217 a.

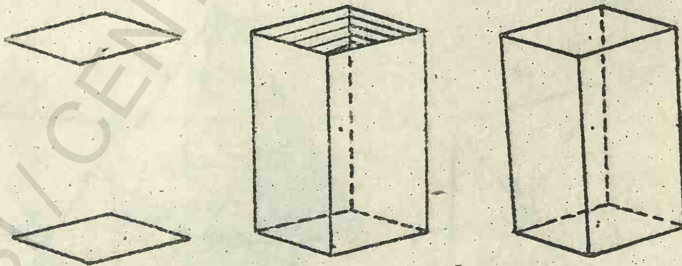


Fig. 217 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL ROMBIC

III

CLASA AXIALĂ

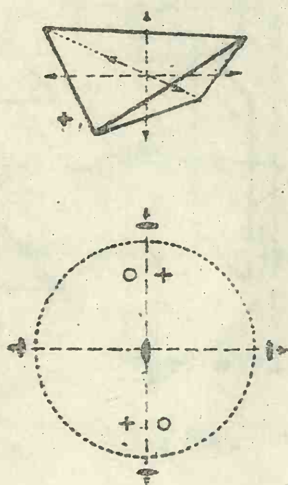


Fig. 222a



Fig. 222b

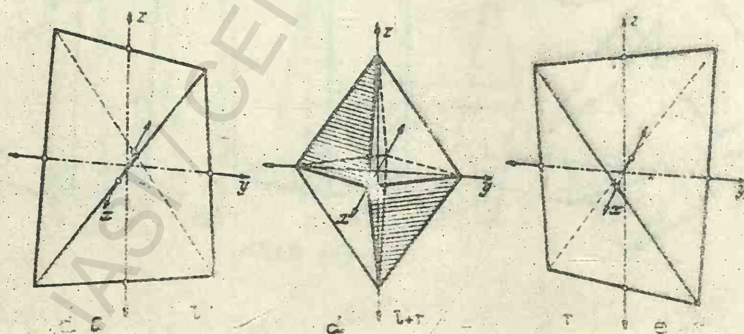


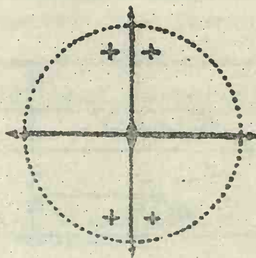
Fig. 222

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

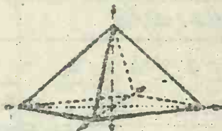
FORME SIMPLE DIN SISTEMUL ROMBIC

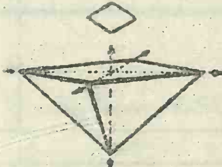
IV

CLASA PLANALĂ



a. superioară





b. inferioară

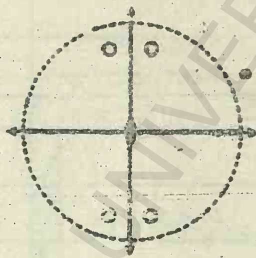


Fig. 221_1

HEMIMORFII

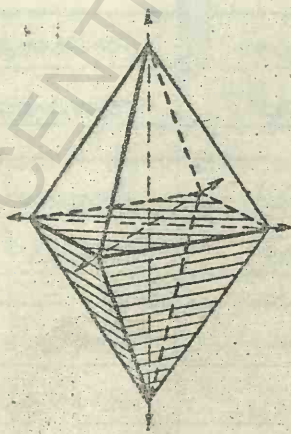


Fig. 221_2.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Formele simple din sistemul rombic

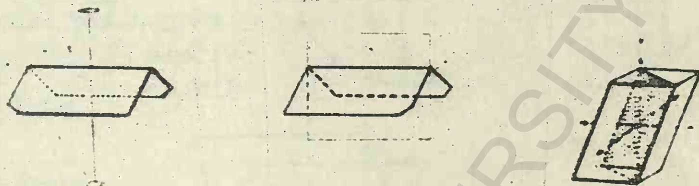
Clasele de simetrie / Poziția și simbolul			Planală	Axială	Planaxială
			L^2 – – – p' p'' –	$L^2 L'^2 L''^2$ – – – –	$L^2 L'^2 L''^2$ p^2 p'^2 p''^2 C (π)
1	(001)	(001)	Monoedru	Pinacoid	Pinacoid
	(010)	(010)	Pinacoid	Pinacoid	Pinacoid
3	(100)	(100)	Pinacoid	Pinacoid	Pinacoid
4	(h0l)	(101)	Diedru planal	Prisma rombică	Prisma rombică
5	(0kl)	(011)	Diedru planal	Prisma rombică	Prisma rombică
6	(hk0)	(110)	Prisma rombică	Prisma rombică	Prisma rombică
7	(hkl)	(111)	Piramida rombică	Tetraedrul rombic	Bipiramida rombică

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1. 6. SISTEMUL MONOCLINIC

Sistemul monoclinic sau clinorombic cuprinde, ca și sistemul ortorombic, tot trei clase de simetrie: planală, axială și planaxială, dar acestea sînt formate pe baza axei primitive L^1.

Formele simple din sistemul monoclinic sînt forme deschise:



a. Clasa planaxială.

Clasa planaxială a sistemului monoclinic are formula de simetrie $\frac{L^2}{P}C$

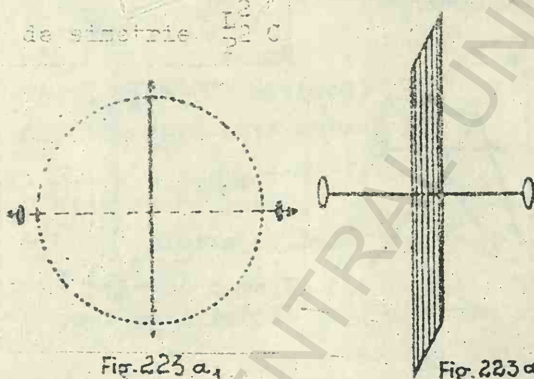


Fig.223 a₁ Fig.223 a₂

. Forma generală, din poziția (7), este o prismă cu secțiunea rombică, dar înclinată în direcția planului de simetrie - prisma monoclinică sau clinorombică (fig.223).

Nu mai există nici o clasă de simetrie care să aibă forma generală o prismă și de aceea, clasa se numește simplu: clasă prismatică.

In celelalte poziții corespund de asemenea numai forme deschise: pinacoizi și prisme monoclinice.

b. Clasa planală.

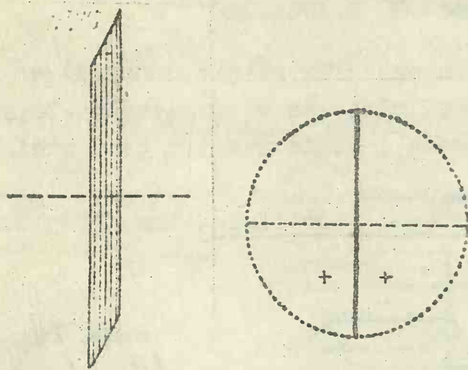
Clasa planală nu are decît un singur element de simetrie, un plan de simetrie: $\frac{-}{P}$ –.

Pentru poziția generală, (7) corespunde o formă cu două fețe diedrice, prin intersecția cărora trece planul de simetrie, deci diedrul planal h k l sau 111 .

Clasa se numește diedric planală.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

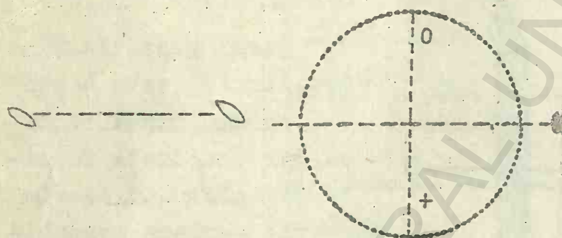
Acest diedru fiind hemiedria prismei monoclinice $\{110\}$ vor rezulta două forme corelate: diedrul planal pozitiv, $\frac{1}{2}\{110\}$ şi diedrul planal negativ, $\frac{1}{2}\{\bar{1}10\}$, (fig.224).



Pentru celelalte poziţii corespund de asemenea numai monoedri, pinacoizi şi diedri planali, deci forme deschise deja întîlnite, unele în clasele anterioare din singoniile inferioare, altele şi în singoniile din categoria mijlocie.

c. <u>Clasa axială.</u>

Şi clasa axială a sistemului monoclinic are tot un singur element de simetrie: axa L^2.



Forma generală, din poziţia (7) este un diedru axial sau sfenoid (fig.225).

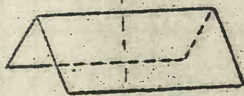
Clasa se numeşte diedric axială.

- In celelalte poziţii vor rezulta monoedri, pinacoizi şi diedri axiali, cu indicii corespunzători.

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL MONOCLINIC



Fig. 224c





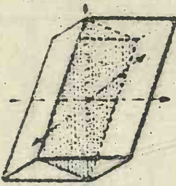


Fig. 224 a, b.

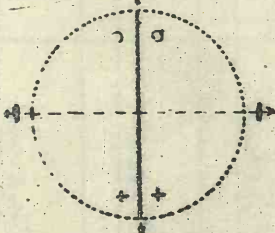
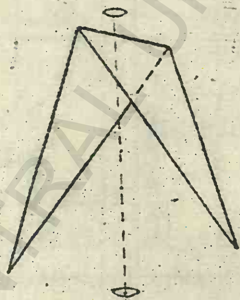


Fig. 224 b_2

Fig. 224 c_2



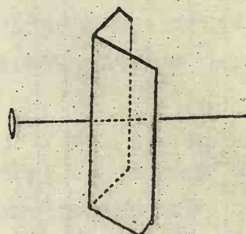


Fig. 225a

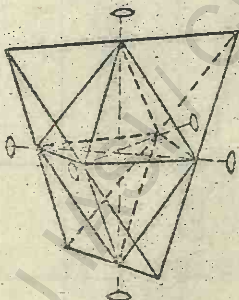


Fig. 225c

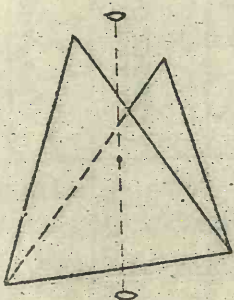


Fig. 225d, e

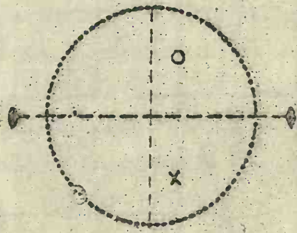


Fig. 225b.

Formele simple din sistemul triclinic și monoclinic

Poziția și simbolul / Clasele de simetrie			Sistemul triclinic		Sistemul monoclinic		
			Primitivă	Centrică	Planală	Axială	Planaxială
			L^1 (–)	C	P	L^2	$\frac{L^2}{\pi}$ C
1	(001)	(001)	Monoedru	Pinacoid	Monoedru	Pinacoid	Pinacoid
2	(010)	(010)	Monoedru	Pinacoid	Pinacoid	Monoedru	Pinacoid
3	(100)	(100)	Monoedru	Pinacoid	Monoedru	Pinacoid	Pinacoid
4	(h0l)	(101)	Monoedru	Pinacoid	Monoedru	Pinacoid	Pinacoid
5	(0kl)	(011)	Monoedru	Pinacoid	Diedru	Diedru	Prisma clinorombică
6	(hk0)	(110)	Monoedru	Pinacoid	Diedru	Diedru	Prisma clinorombică
7	(hkl)	(111)	Monoedru	Pinacoid	Diedru	Diedru	Prisma clinorombică

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1. 7. SISTEMUL TRICLINIC

Sistemul triclinic are numai două clase de simetrie: clasa centrică şi clasa primitivă,adică primele două clase care rezultă pe baza axei primitive L^1 .

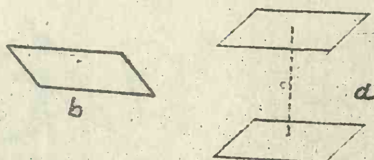
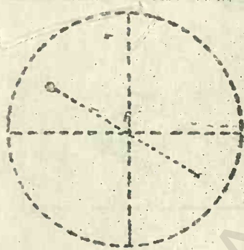


Fig.226. FORMELE SIMPLE

Din cauza simetriei foarte reduse,în acest sistem nu rezultă,de alt fel,decît cele mai simple două forme: monoedri şi pinacoizi,cu diferite poziţii.

a. Clasa centrică.

In clasa centrică singurul element de simetrie este centrul de inversiune C.


Fig.226 a

In poziţia generală (7) rezultă un pinacoid, {h k l} şi de aceea clasa se numeşte clasă pinacoidală (fig.226 a).

In toate celelalte poziţii feţele se repetă o singură dată formînd de asemenea pinacoizi.

b. Clasa asimetrică.

In clasa primitivă nu există nici un element de simetrie,axa L^1 care este axă primitivă nu duce la nici o repetare a feţei generatoare.


Fig.226 b

Pentru acest motiv clasa se mai numeşte şi clasă asimetrică.

Forma generală,din poziţia (7) este un monoedru sau pedion {h k l} (fig.226 b). Clasa se numeşte clasă monoedrică.

- Pentru toate celelalte poziţii corespund de asemenea numai monoedri,care sînt notaţi corespunzător.

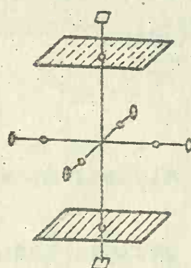
Notă. In tabelul cu 47 forme simple se consideră un singur diedru şi o singură prismă rombică (orto şi clinorombică).

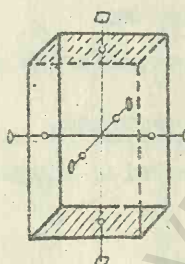
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME SIMPLE DIN SISTEMUL TRICLINIC

St. CLASA CENTRICĂ

Dr. CLASA PRIMITIVĂ





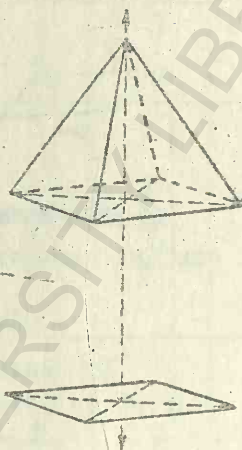


Fig. 226 b_1

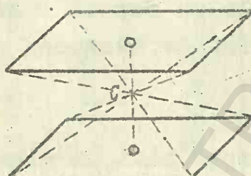


Fig. 226 a_1



Fig. 226 b_2

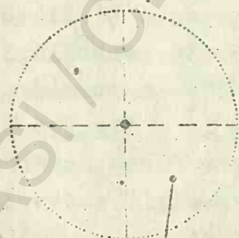


Fig. 226 a_2

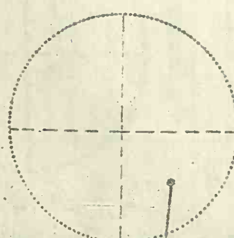


Fig. 226 b_3

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

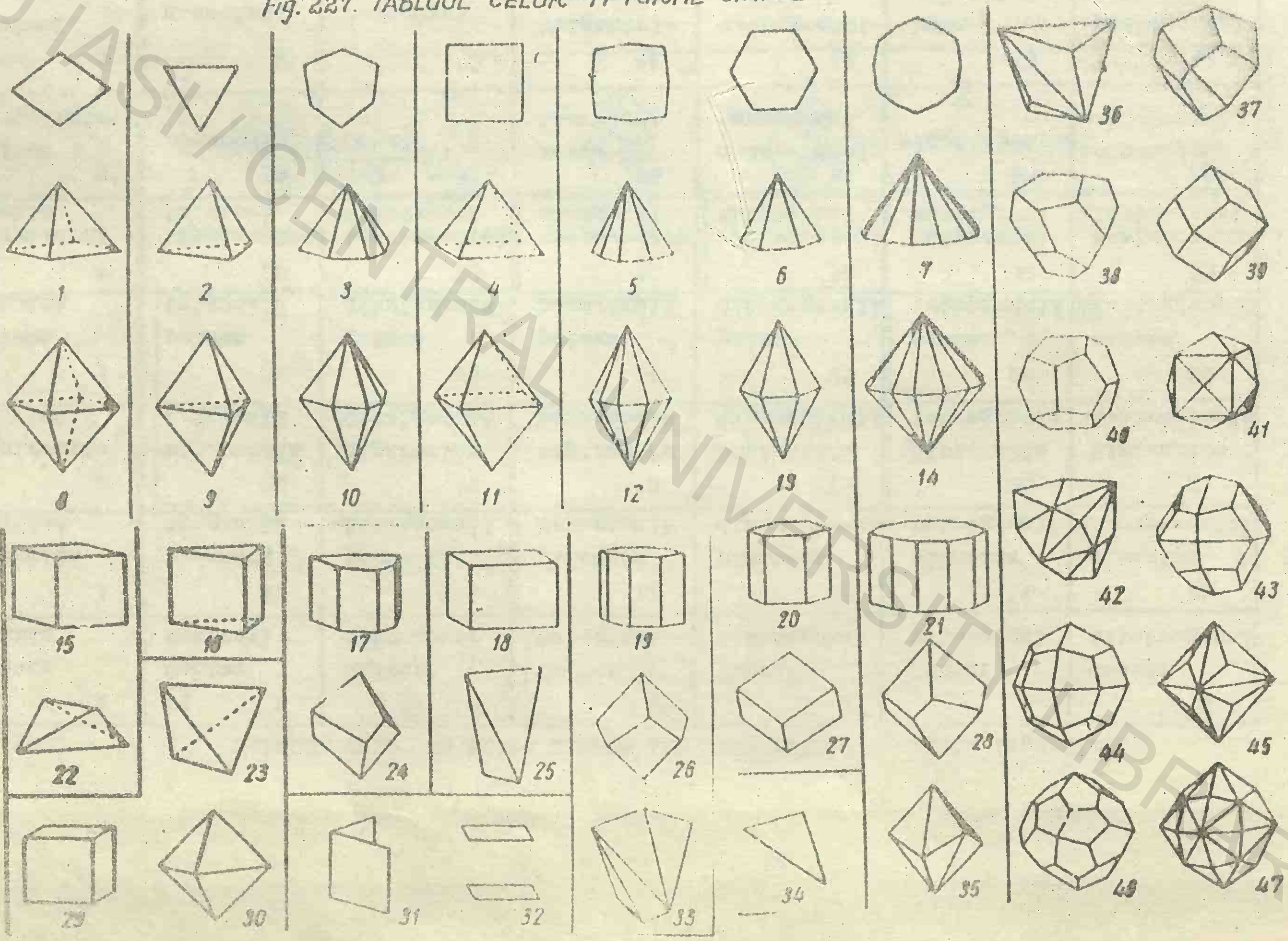


Fig. 227. TABLOUL CELOR 47 FORME SIMPLE

TABLOUL CELOR 49 FORME SIMPLE ALE CRISTALELOR - lista figurilor -

I A	II B	C	D	E	F	G
Contur rombic	Contur trigonal	Contur ditrigonal	Contur hexagonal	Contur dihexagonal	Contur tetragonal	Contur ditetragonal
1 piramida rombică	10 piramida trigonală	11 piramida ditrigonală	12 piramida hexagonală	13 piramida dihexagonală	14 piramida tetragonală	15 piramida ditetragonală
2 bipiramida rombică	16 bipiramida trigonală	17 bipiramida ditrigonală	18 bipiramida hexagonală	19 bipiramida dihexagonală	20 bipiramida tetragonală	21 bipiramida ditetragonală
3 prisma rombică	22 prisma trigonală	23 prisma ditrigonală	24 prisma hexagonală	25 prisma dihexagonală	26 prisma tetragonală	27 prisma ditetragonală
4 tetraedrul rombic	28 trapezoedrul trigonal	29 scalenoedrul ditrigonal	30 trapezoedrul hexagonal	31 trapezoedrul tetragonal	32 tetraedrul tetragonal	33 scalenoedrul ditetragonal
5 prisma monoclinică	34 romboedrul	III 35 cubul	36 tetra-hexaedrul	37 dodecaedrul pentagonal	38 didodecaedrul	39 dodecaedrul romboidal
6 diedrul planal	9 monoedrul	40 octaedrul	41 trigontri-octaedrul	42 tetragontri-octaedrul	43 hexa-octaedrul	44 pentagontri-octaedrul
7 diedrul axial	8 pinacoidul	45 tetraedrul	46 trigontri-tetraedrul	47 tetragontri-tetraedrul	48 hexa-tetraedrul	49 pentagontri-tetraedrul

TABLOUL CELOR 49 FORME SIMPLE ALE CRISTALELOR

I A

II B C D E F

III

ARANJAMENT : TRAIAN IORICEANU, CRISTALOGRAFIE Ed. 1973

CENTRUL DE MULTIPLICARE AL UNIVERSITĂŢII „AL. I. CUZA" IAŞI

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Tabelul 2

CLASELE DE SIMETRIE — PROIECȚIA STEREOGRAFICĂ A ELEMENTELOR DE SIMETRIE ȘI FORMELOR GENERALE

CATEG.	AXA PR.	SISTEMUL \ CLASA	PRIMITIVĂ	CENTRICĂ	PLANALĂ	AXIALĂ	PLAN-AXIALĂ	GIROIDO-PRIMITIVĂ	GIROIDO-PLANALĂ
INFERIOARĂ	L^1	TRICLINIC	L^1 C_1 1 1	C Ci $\bar{1}$ 2					
		MONOCLINIC			P Cs m 3	L^2 C_2 2 4	$L^2 \Pi C$ C_{2h} 2/m 5		
	L^2	ROMBIC			$L^2\ 2P$ C_{2v} mm 6	$L^2\ 2L^2$ D_2 222 7	$L^2 \Pi\ 2L^2\ 2P^2C$ D_{2h} 2/m mm 8		
	AXA	SIST.	PRIMITIVA	CENTRICA	PLANALA	AXIALA	PLANAXIALA	GIROIDOPRIMIT.	GIROIDOPLANALA
MIJLOCIE	L^3	TRIGONA	L^3 C_3 3 9	$L^3_6 C$ $C_{3i}=S_6$ $\bar{3}$ 10	$L^3\ 3P$ C_{3v} 3m 11	$L^3\ 3L^2$ D_3 32 12	$L^3_6\ 3L^2\ 3P^2C$ D_{3d} $\bar{3}m$ 13		
	L^4	TETRAGONAL	L^4 C_4 4 14	$L^4 \Pi C$ C_{4h} 4/m 15	$L^4\ 4P$ C_{4v}; 4mm 16	$L^4\ 4L^2$ D_4 ; 422 17	$L^4\ 4L^2 \Pi\ 4P^2C$ D_{4h} ; 4/m mm 18	$L^2_4 i$ S_4 $\bar{4}$ 19	$L^2_4 i\ 2L^2\ 2P$ D_{2d} $\bar{4}$ 2m 20
	L^6	HEXAGONAL	L^6 C_6 6 21	$L^6 \Pi C$ C_{6h} 6/m 22	$L^6\ 6P$ C_{6v} ; 6mm 23	$L^6\ 6L^2$ D_6 ; 622 24	$L^6\ 6L^2 \Pi\ 6P^2\ C$ D_{6h} ; 6/m mm 25	$L^3_6 i = L^3 \Pi$ C_{3h} $\bar{6}$ 26	$L^3_6 i\ 3L^2\ 3P$ D_{3h} $\bar{6}$m2 27
SUPERIOARĂ	$3L^2 4L^3$	CUBIC	$3L^2\ 4L^3$ T 23 28	$3L^2\ 4L^3_6\ 3\Pi\ C$ Th m3 29	$3L^2_4\ 4L^3\ 6P$ Td $\bar{4}$3m 30	$3L^4\ 4L^3\ 6L^2$ O 43 31	$3L^4\ 4L^3_6\ 6L^2 3\Pi 6P^2C$ Oh m3m 32		

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. FORME COMPUSE DE CRISTALE

Studiind simetria poliedrelor cristaline, ne-am referit în primul rînd la formele simple de cristale.

Am considerat forme simple, formele rezultate prin repetarea unei fețe generatoare din toate pozițiile posibile, în raport cu axele cristalografice, pe baza elementelor de simetrie ale celor 32 de clase.

Am văzut că unele forme simple sînt identice ca aspect, dar se deosebesc prin simetria lor. Considerîndu-se acestea ca variante ale unei singure forme, cum a fost cazul formelor de specia I, II și III din categoria mijlocie de singonii, deci într-un înțeles mai restrîns, numărul formelor simple s-a redus la 49.
Din acestea, 19 - care sînt forme deschise - nu pot fi întîlnite la cristale decît în asociere, ca forme compuse, care închid spațiul din toate părțile, așa cum se întîmplă în cazul paralelepipezilor formați din asocierea prismelor cu pinacoizi etc. (fig. 228).

Formele deschise nu se asociază însă numai între ele; se întîlnesc la cristale, de multe ori, forme compuse rezultate prin asocierea formelor simple deschise cu forme simple închise, cum este cazul unor cristale de cuarț, care îmbracă forma unei bipiramide hexagonale, cu muchiile laterale tăiate de o prismă hexagonală (fig. 229).

Deasemenea se întîlnesc forme compuse din mai multe forme simple închise, cum sînt de ex. formele rezultate din asocierea cubului cu octaedrul, din asocierea cubului cu dodecaedrul romboidal etc. (fig. 230).

Formele compuse sînt rezultatul repetării mai multor fețe generatoare, cu poziții diferite, simultan, în raport cu aceleași axe cristalografice și pe baza aceleași formule de simetrie.

Ele au uneori înfăţişarea foarte complicată din cauză că forma feţelor de forme simple care le compun diferă foarte mult de cea a formelor simple izolate.

Astfel, în exemplele de mai sus, feţele de octaedru, în mod normal triunghiuri echilaterale, capătă un contur hexagonal, iar feţele bipiramidei tetragonale, normal, triunghiuri isoscele, capătă forma de trapez.

Cu cît numărul formelor simple combinate este mai mare, cu atît formele compuse au o înfăţişare mai complicată, ex. (fig. 231).

Identificarea formelor simple componente se face în aceste cazuri determinînd mai întîi formula de simetrie a cristalului şi alegînd axele cristalografice, după care, se stabileşte notaţia fiecărei feţe. Trecute în proiecţia stereografică, apar clar toate formele simple componente şi poziţiile lor relative.

2.1. Habitus

In cazul exemplelor considerate, am văzut că prin asocierea aceloraşi forme simple (cub cu octaedru, pinacoid bazal, prisma şi bipiramida tetragonală) au rezultat forme compuse cu aspect diferit, după cum s-au desvoltat mai mult feţele unei forme simple sau ale alteia.

Se spune că aceste forme au un habitus deosebit. In cazul în care feţele de cub sînt mult mai dezvoltate decît cele de octaedru (fig. 230 a.b), aspectul general al formei este cel cubic şi forma are un habitus cubic. In cazul cînd feţele de octaedru sînt mai dezvoltate, (fig. 230 c,d), aspectul general al formei este octaedric; forma are habitus octaedric.

2.2. Traht.

In cazul cînd două forme compuse au acelaşi habitus, de ex.habitus cubic,dar formele simple componente

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

sînt diferite la una şi la cealaltă, ca în exemplele de mai sus, cub cu octaedru şi cub cu dodecaedru romboidal, se spune că formele au traht diferit. Prima, traht {100} , {111}, a doua, traht{100},{110}. <u>Trahtul este dat de totalitatea formelor simple componente, habitusul, de forma predominantă în dezvoltare</u>. In fig.24 sînt exemple variate din clasa O_h.

In general vorbind, formele simple se întîlnesc, la cristale, mult mai rar decît cele compuse şi bine-nţeles că în sistemele monoclinic şi triclinic, în care toate formele simple sînt forme deschise, nici nu pot exista decît cristale de forme compuse.

Fie ca forme simple închise, fie ca forme compuse, în toate cazurile însă, este aici vorba de indivizi cristalini izolaţi, cu feţe de acelaşi fel sau cu asociaţii de feţe ale formelor simple diferite, dar nicidecum de asociaţii de cristale, aşa cum vom vedea mai departe.

2.3. EX. DE COMPUNEREA FORMELOR SIMPLE

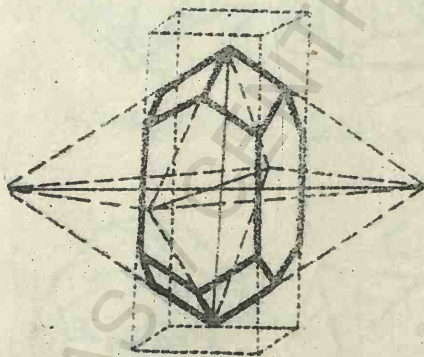


Fig. 229 b

- BIPIRAMIDĂ TETRAGONALĂ DE SP. I, {111}
- PRISMĂ TETRAGONALĂ DE SPECIA II, {100}.

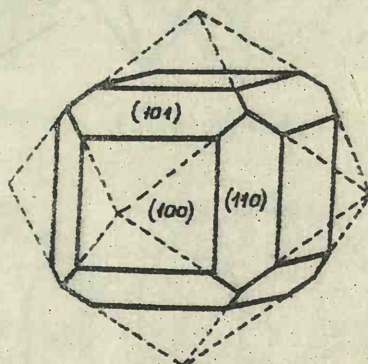


Fig. 230 a

- HEXAEDRU (CUB), {100}
- DUODECAEDRU ROMBOIDAL, {110}

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME COMPUSE
I

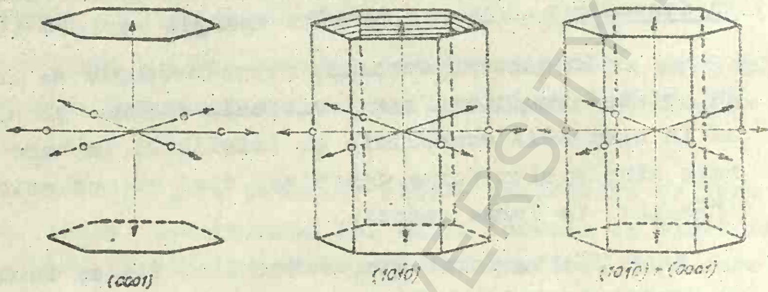


Fig. 228.

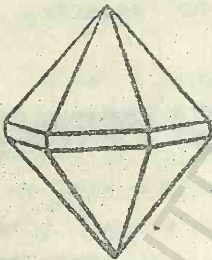


Fig. 229.

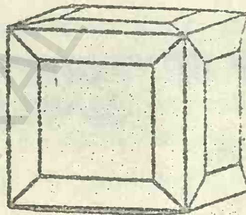


Fig. 230 a

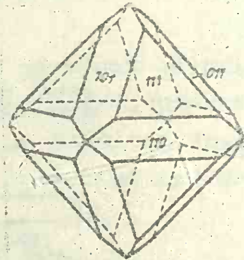


Fig. 230 b.

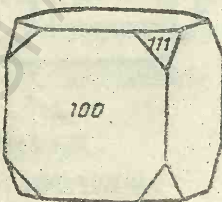


Fig. 230 c

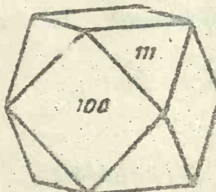


Fig. 230 d

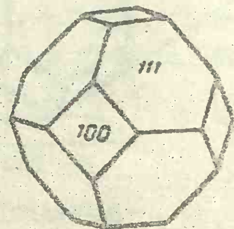


Fig. 230 e

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORME COMPUSE
II

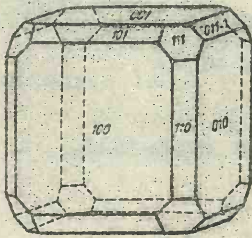
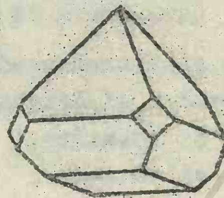


Fig. 230 f


Fig. 230 h

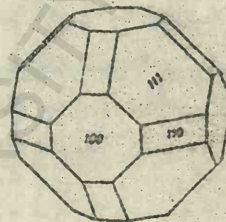


Fig. 230 g

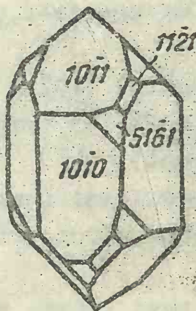
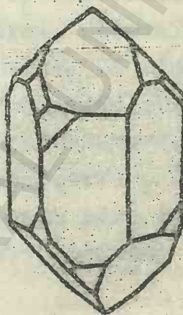


Fig. 230 i_1


Fig. 230 i_2

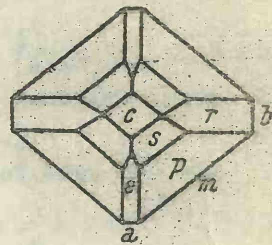


Fig. 230 j

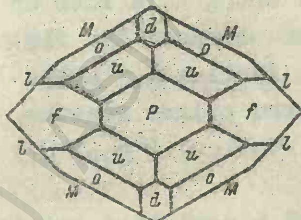


Fig. 230 k_1

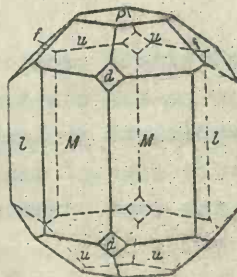


Fig. 230 k_2

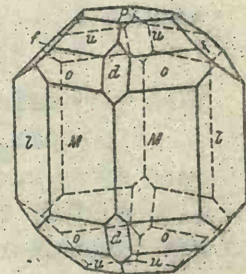


Fig. 230 k_3

BCU CLUJ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

EXPLICATIA FIGURILOR 228-230

Fig.228: a. pinacoidul $\{0001\}$,
b. prisma hexagonală $\{10\bar{1}0\}$,
c. forma compusă din prisma hexagonală $\{10\bar{1}0\}$ şi pinacoidul $\{0001\}$.

Fig.229: Formă compusă din bipiramida hexagonală de specia I şi prisma hexagonală de specia I.

Fig.230: a. cub şi tetrahexaedru,
b. octaedru şi dodecaedru romboidal,
c. cub şi octaedru,
d. cub şi octaedru,
e. octaedru şi cub,
f. cub,dodecaedru romboidal şi octaedru,
g. octaedru,cub şi dodecaedru romboidal,
h. bipiramida tetragonală de specia I,prisma tetragonală de specia II şi monoedru,
i_1.prisma hexagonală,romboedrul $\{10\bar{1}1\}$,romboedrul $\{01\bar{1}1\}$,bipiramida trigonală $\{11\bar{2}1\}$ şi trapezoedrul trigonal $\{51\bar{6}1\}$ (trapezoedrul drept),
i_2.forma este compusă din aceleaşi forme simple,dar este forma enantiomorfă,cu trapezoedrul stîng, $\{6\bar{1}\bar{5}1\}$,
j. forma este compusă din trei prisme rombice (m, r şi e),din două piramide rombice, (p şi s) şi din trei pinacoizi, (a, b, şi c),deci din opt forme simple;

k_1 reprezintă proiecţia ortogonală într-un plan perpendicular pe axa z a formei compuse din fig. k_3

k_3 reprezintă proiecţia înclinată a aceleaşi forme,care este compusă din patru prisme rombice, (M, d, f şi l),din două piramide rombice, (o şi u) şi din pinacoidul (p);

k_2 reprezintă o variantă a aceluiaşi cristal de topaz,dar este compusă din mai puţine forme simple.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.4. FORME COMPUSE ALE UNOR CRISTALE REALE. (EXEMPLE)

In mai rare cazuri cristalele reale (minerale ş.a.) se găsesc în forme simple; de cele mai multe ori ele au forme compuse din două şi de obicei, din mai multe forme simple.

Trahtul cristalului, în ansamblu, scoate în evidenţă simetria lui.

In cele ce urmează vom prezenta exemple de asemenea cristale pentru fiecare din cele 32 clase de simetrie.

A. CATEGORIA INFERIOARA DE SINGONII.

I. S i s t e m u l t r i c l i n i c.

1. <u>Clasa primitivă, monoedrică.</u> L^1 (-).

<u>Ferohexasulfocianura de rubidiu</u>, $Rb_4Fe(SCN)_6 \cdot 2H_2O$ (fig. 231.1). - Relaţia axială: a:b:c = 1,9855:1:1,0760 ; $\alpha = 95^{\circ}55'$, $\beta = 109^{\circ}35'$, $\gamma = 87^{\circ}11'$

- Forme simple: monoedri, a= $\{100\}$,m= $\{110\}$, c= $\{001\}$,r= $\{101\}$ şi k= $\{0\bar{1}1\}$.

2. <u>Clasa centrică, pinacoidală.</u> C .

<u>Albit</u>, $NaSi_3AlO_8$,fig. 231.2 .

- Relaţia axială: a:b:c = 0,6335:1:0,5577 ; $\alpha = 94^{\circ}05'$, $\beta = 116^{\circ}29'$, $\gamma = 88^{\circ}09'$.

- Forme simple: pinacoizi, b= $\{010\}$,c= $\{001\}$, m= $\{110\}$,M= $\{1\bar{1}0\}$, o= $\{11\bar{1}\}$ şi p= $\{1\bar{1}\bar{1}\}$.

II. S i s t e m u l m o n o c l i n i c.

3. <u>Clasa planală, diedric planală.</u> P .

<u>Tetrationatul de potasiu</u>, $K_2S_4O_6$,fig. 231.3 .

- Relaţia axială: a:b:c = 0,9302:1:1,2665 ; $\beta = 104^{\circ}16'$.

- Forme simple: monoedri, a= $\{100\}$,c= $\{001\}$; diedri, m= $\{110\}$,q= $\{011\}$,v= $\{113\}$ şi o= $\{11\bar{1}\}$ ş.a.

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4. Clasa axială, diedric axială. L^2 .

Acidul dextro şi levo tartric, $C_4H_6O_6$ (fig. 231_4).
- Relaţia axială: a:b:c = 1,2747 : 1 : 1,0266 ; $\beta = 100^\circ 17'$
- Forme simple: Pinacoizi: a = $\{100\}$, c= $\{001\}$, r= $\{101\}$, $\varrho = \{\bar{1}01\}$; diedri axiali: m= $\{110/\bar{1}10\}$, = $\{1\bar{1}0/110\}$; q= $\{011/0\bar{1}1\}$.

5. Clasa planaxială, prismatică. $L^2 P^2 C$.

Realgarul, AsS (fig. 231_5).
- Relaţia axială: a:b:c = 1,4403:1:0,9729 ; $\beta = 113^\circ 55'$.
- Forme simple: Pinacoizi: r = $\{010\}$, c = $\{001\}$; prisme monoclinice: m = $\{110\}$, l = $\{210\}$, n = $\{011\}$, s = $\{111\}$.

III. S i s t e m u l   r o m b i c .

6. Clasa planală, rombopiramidală. L^2 2P .

Calamina, $Zn_4 Si_2O_7 (OH)_2 \cdot H_2O$ (fig. 231_6).
- Relaţia axială: a:b:c = 0,7835 : 1 : 0,4778 ; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
- Forme simple: Monoedru, c = $\{001\}$; pinacoizi: a= $\{100\}$ şi b = $\{010\}$; prisma rombică m = $\{110\}$; diedri: s = $\{301\}$, r = $\{101\}$, t = $\{031\}$ şi l = $\{011\}$; piramida rombică q = = $\{12\bar{1}\}$.

7. Clasa axială, rombotetraedrică L^2 $2L^2$.

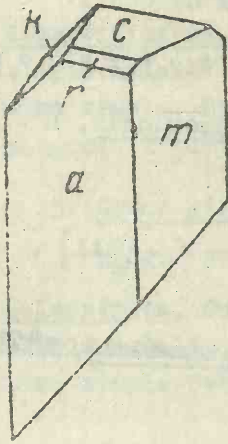
Tartratul de stibil şi potasiu, $C_4H_4O_6(SbO)K \cdot H_2O$. (fig. 231_7).
- Relaţia axială: a : b : c = 0,9578 : 1 : 1,1048.
- Forme simple: Pinacoidul c = $\{001\}$, prisma rombică m = $\{110\}$, tetraedrii rombici: o = $\{111\}$ şi ω = $\{1\bar{1}1\}$.

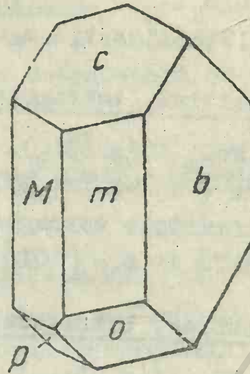
8. Clasa planaxială, rombobipiramidală, L^2 $2L^2$ $2P^2$ C

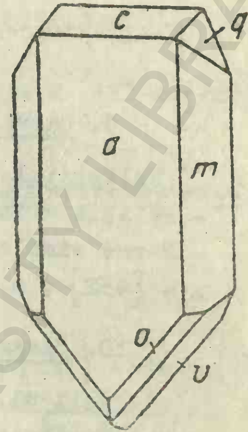
Clorura de plumb, Pb Cl_2 (fig. 231_8).
- Relaţia axială: a : b : c = 0,5943 : 1 : 1,1898.
- Forme simple: Pinacoidul b = $\{010\}$, prismele rombice; k = $\{012\}$ şi d = $\{021\}$; bipiramidele rombice: p = $\{111\}$ şi = $\{112\}$.

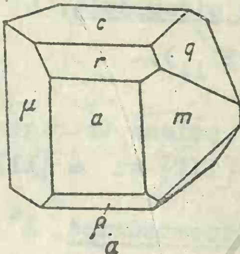
BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

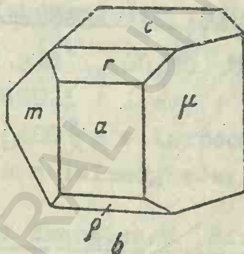
SISTEMELE TRICLINIC 1-2; MONOCLINIC 3-5 şi ROMBIC 6-8.











4

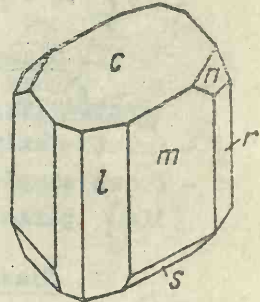
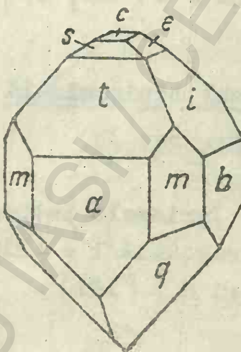
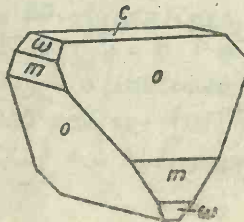
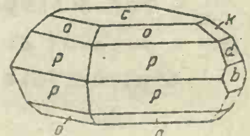


Fig. 231/n







B. CATEGORIA MIJLOCIE DE SINGONII.

IV. S i s t e m u l t e t r a g o n a l.

9. Clasa primitivă, tetragonal piramidală, L^4.

Wulfenitul, Pb MoO_4 (fig.231_9).
- Relația axială: a : c = 1 : 1,5777.
- Forme simple: Piramidele tetragonale: o = {111} , = {11Ī}
x = {432} , s = {31Ī} și e = {10Ī} .

10. Clasa centrică, tetragonalbipiramidală, $L^4 \Pi C$.

Scheelitul, Ca WO_4 (fig.231_{10}).
- Relația axială: a : c = 1 : 1,5268.
- Forme simple: Bipiramidele tetragonale: p = {101} ,y = {313} , o = {111} și s = {131} .

11. Clasa planală, ditetragonal piramidală, L^4 4P.

Pentaeritritul, C $(CH_2OH)_4$ (fig.231_{11}).
- Relația axială: a : c = 1 : 1,0236.
- Forme simple: Monoedrul c = {001} ,prisma tetragonală a = {100} ,piramidele tetragonale: o = {111} și = {11Ī} .

12. Clasa axială, tetragonal trapezoedrică, L^4 $4L^2$.

Tricloracetatul de potasiu,C $Cl_3(CO_2K)$.C $Cl_3(CO_2H)$
- Relația axială: a : c = 1 : 0,7808.
- Forme simple: bipiramida tetragonală o = {111} și trapezoedrul tetragonal x = {311} .

13. Clasa planaxială, ditetragonal bipiramidală $L^4 4L^2 \Pi 4P^2 C$

Vezuvianul, Ca_3Al2 $(SiO_4)_2$.OH 4 (fig.231_{13}).
- Relația axială: a : c = 1 : 0,5372.
- Forme simple: Pinacoidul c = {001} ,prismele tetragonale: a = {100} și m = {110} ,prisma ditetragonală l = {210} și bipiramidele tetragonale: o = {111} și d = { 101} .

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

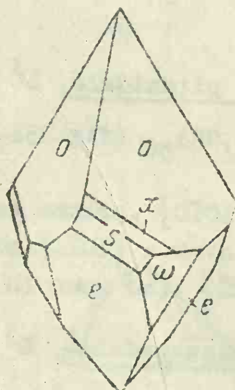
14. Clasa giroido-primitivă, tetragonal tetraedrică, L_4^2.

Alumosilicatul de calciu, $Ca_2Al_2SiO_7$. (fig.231_{14}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,6955.
- Forme simple: Prisma tetragonală de specia a III-a, {210} şi pinacoidul {001}.

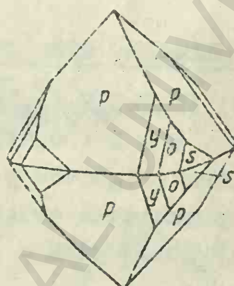
15. Clasa giroido-planală, ditetragonal scalenoedrică, $L_4^2\ 2L^2\ 2P$

Calcopirita, $CuFeS_2$ (fig.231_{15}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,9856.
- Forme simple: Tetraedrii tetragonali: o = {111} şi ω = {1$\bar{1}$1}.

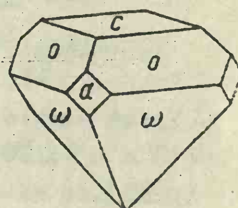
Fig. 231/n
-continuare-



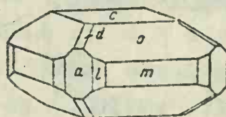
9



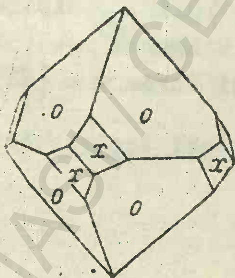
10



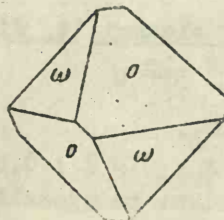
11



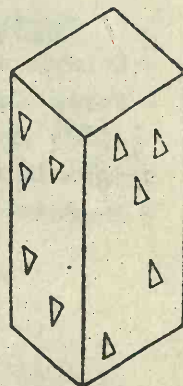
13



12



15


14

V. Sistemul trigonal.

16. Clasa primitivă, trigonal piramidală, L^3.

Periodatul de natriu, $Na_2I_2O_8 \cdot 6H_2O$ (fig.231_{16}).
- Relaţia a xială: a : c = 1 : 1,094.
- Forme simple: Monoedrul $\{000\bar{1}\}$ şi piramidele trigonale: r = $\{10\bar{1}0\}$, e = $\{02\bar{2}1\}$ şi s = $\{21\bar{3}1\}$.

17. Clasa centrică, romboedrică, L_6^3 C.

Fenacitul, Be_2SiO_4 (fig.231_{17}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,6611.
- Forme simple: Prismele hexagonale: m = $\{10\bar{1}0\}$ şi a = $\{11\bar{2}0\}$; romboedrii: x = $\{13\bar{4}1\}$, r = $\{10\bar{1}1\}$, s = $\{21\bar{3}1\}$ şi d = $\{01\bar{1}2\}$.

18. Clasa planală, ditrigonal piramidală, L^3 3P.

Turmalina, $(Na,Ca)(MgFe)_6B_3Al_3Si_6(O,OH)_{30}$ (fig.231_{18}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,4476.
- Forme simple: Prisma trigonală p = $\{10\bar{1}0\}$,prisma hexagonală m = $\{11\bar{2}0\}$ şi piramidele trigonale: r = $\{10\bar{1}1\}$ şi e = $\{02\bar{2}1\}$;de asemenea:$\{\bar{1}01\bar{1}\}$ şi k = $\{0\bar{1}1\bar{2}\}$,(nu apar în desen).

19. Clasa axială, trigonal trapezoedrică, L^3 $3L^2$.

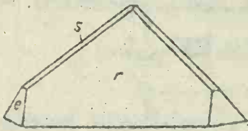
Cuarţul - drept şi stîng - SiO_2. (fig.231_{19}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 1,1000.
- Forme simple: -la forma dreaptă, prisma hexagonală m = $\{10\bar{1}0\}$,romboedrii: r=$\{10\bar{1}1\}$ şi z = $\{01\bar{1}1\}$, bipiramida trigonală s = $\{11\bar{2}1\}$ şi trapezoedrul trigonal x = $\{51\bar{6}1\}$;
- la forma stîngă: forma s = $\{2\bar{1}\bar{1}1\}$ şi forma x = $\{6\bar{1}\bar{5}1\}$.

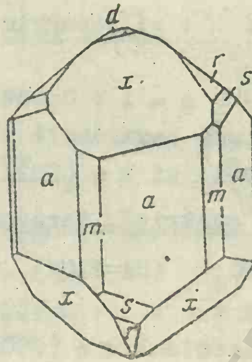
20. Clasa planaxi lă, ditrigonal scalenoedrică, L_6^3 $3L^2$ $3P^2$ C

Calcita, $CaCO_3$.
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,8543.
- Forme simple: Prisma hexagonală a = $\{11\bar{2}0\}$ şi scalenoedrul ditrigonal s = $\{21\bar{3}1\}$.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SISTEMUL TRIGONAL





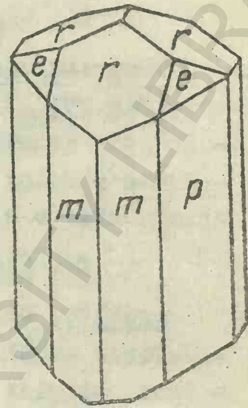
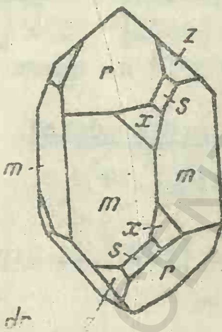
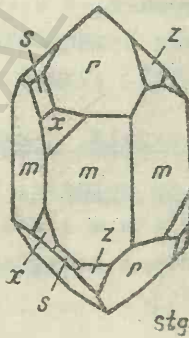
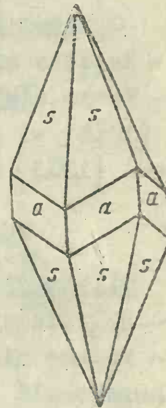


Fig. 231n
-continuare-





19



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

VI. S i s t e m u l   h e x a g o n a l.

21. Clasa primitivă, hexagonal piramidală, L^6.

Tartratul de stibil şi stronţiu, Sr $(C_4H_4O_6)_2$ (SbO_2). (fig.231_{21}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,8442.
- Forme simple: Prisma hexagonală m = $\{10\bar{1}0\}$ şi piramidele hexagonale: o = $\{10\bar{1}1\}$ şi k = $\{20\bar{2}\bar{1}\}$.

22. Clasa centrică, hexagonal bipiramidală, $L^6 \Pi C$.

Apatita, Ca_5 $(PO_4)_3$ (Cl,F,OH). (fig.231_{22}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,7356.
- Forme simple: Pinacoidul c = $\{0001\}$; prismele hexagonale: m = $\{10\bar{1}0\}$ şi a = $\{11\bar{2}0\}$; bipiramidele hexagonale: o = $\{10\bar{1}1\}$, s = $\{11\bar{2}1\}$, x = $\{3\bar{2}\bar{1}1\}$ şi t = $\{20\bar{2}1\}$.

23. Clasa planală, dihexagonal piramidală, L^6 6P.

Grenochitul, Cd S (fig.231_{23}.).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 1,6218.
- Forme simple: Monoedrul c = $\{0001\}$,prisma hexagonală m= $\{10\bar{1}0\}$ şi piramidele hexagonale: o = $\{20\bar{2}1\}$, i = $\{10\bar{1}1\}$, r = $\{10\bar{1}2\}$ şi ω = $\{10\bar{1}\bar{1}\}$;(monoedrul $\{000\bar{1}\}$ nu apare în desen;

24. Clasa axială, hexagonal trapezoedrică, L^6 $6L^2$.

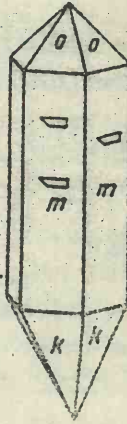
Silicomolibdatul de potasiu, $K_4Mo_{12}SiO_{40}$.18 H_2O.
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,6809.
- Foreme simple: Prisma hexagonală m = $\{10\bar{1}0\}$ şi bipiramida hexagonală o = $\{10\bar{1}1\}$.

25. Clasa planaxială, dihexagonal bipiramidală, $L^6 \Pi 6L^2 6P^2 C$.

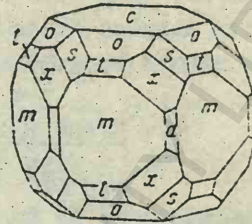
Berilul, Be_3 Al_2 Si_6O_{18} (fig.231_{25}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,4989.
- Forme simple: Pinacoidul c = $\{0001\}$,prisma hexagonală m = $\{10\bar{1}0\}$, bipiramidele hexagonale: o = $\{10\bar{1}1\}$, t = $\{20\bar{2}1\}$ şi r = $\{11\bar{2}1\}$ şi bipiramida dihexagonală x = $\{3\bar{2}\bar{1}1\}$.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SISTEMUL HEXAGONAL
CLASE CU L^6

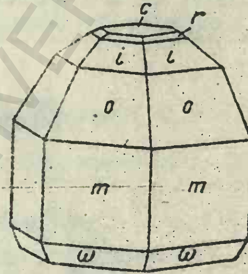


21

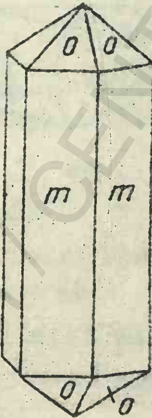


22

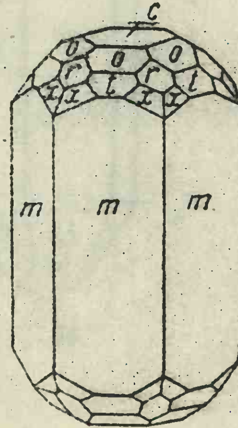
Fig. 234 n
- continuare -



23



24



25

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

26. Clasa giroido-primitivă, trigonal bipiramidală.

$L_{6i}^{3} = L^{3}\pi$.

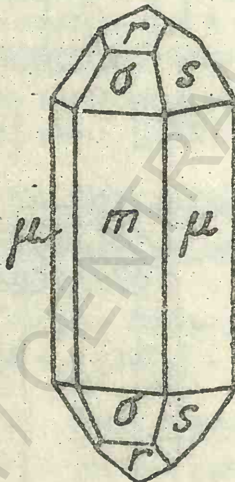
Fosfatul acid de argint, $Ag_2H(PO_4)$, (fig.231_{26}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,7297.
- Forme simple: Prismele trigonale: m = $\{10\bar{1}0\}$ şi μ = $\{01\bar{1}0\}$, bipiramidele trigonale: r = $\{10\bar{1}1\}$, s = $\{02\bar{2}1\}$, σ = $\{20\bar{2}1\}$.

27. Clasa giroido-planală, ditrigonal bipiramidală.

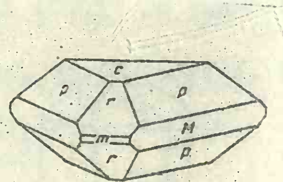
$L_{6i}^{3}\ 3L^{2}\ 3P$.

Benitoitul, Ba Ti Si_3O_9, (fig.231_{27}).
- Relaţia axială: a : c = 1 : 0,7319.
- Forme simple: Pinacoidul c = $\{0001\}$, prismele trigonale: m = $\{10\bar{1}0\}$ şi M = $\{01\bar{1}0\}$, bipiramidele trigonale: r = $\{10\bar{1}1\}$ şi p = $\{01\bar{1}1\}$.

CLASE CU L_{6i}^{3}.



26



27

Fig. 231n
- continuare -

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

VII. S i s t e m u l c u b i c.

28. Clasa primitivă, pentagontritetraedrică $3L^2\ 4L^3$

Cloratul de sodiu, $NaClO_3$ (fig.231_{28}).
- Relaţia axială: a : a : a şi $\alpha = \beta = \gamma = 90^o$.
- Forme simple: Cubul a = {100} ,dodecaedrul pentagonal p = {201} ,dodecaedrul romboidal d = {110} şi tetraedrul o ={1Ī1}

29. Clasa centrică, didodecaedrică, $3L^2\ 4L^3_6\ 3\Pi C$.

Pirita, FeS_2 (fig.231_{29}).
- Forme simple: Octaedrul o = {111} şi dodecaedrul pentagonal p = {210} .

30. Clasa planală, hexatetraedrică, $3L^2_4\ 4L^3\ 6P$.

Blenda, ZnS . (fig.231_{30}).
- Forme simple: Cubul a = 100 şi tetraedrul o = {111} .

31. Clasa axială, pentagontrioctaedrică, $3L^4\ 4L^3\ 6L^2$

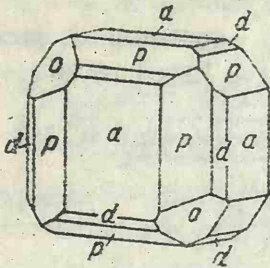
Clorura de amoniu, NH_4Cl (fig.231_{31}).
- Forme simple: tetragontrioctaedrul i = {211} şi pentagontrioctaedrul x = {875} .

32. Clasa planaxială, hexaoctaedrică,
$3L^4\ 4L^3_6\ 6L^2\ 3\Pi\ 6P^2\ C$.

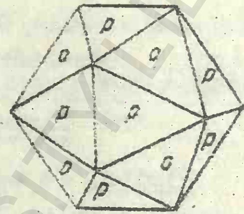
Cuprul, Cu . (fig.231_{32}).
- Forme simple: Cubul a = {100} şi dodecaedrul romboidal d = {110} .

Grosularul, $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$, (fig.231_{33}).
- Forme simple: dodecaedrul romboidal d = {110} şi tetragontrioctaedrul i = {211} .

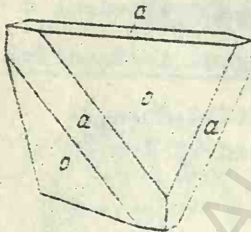
SISTEMUL CUBIC



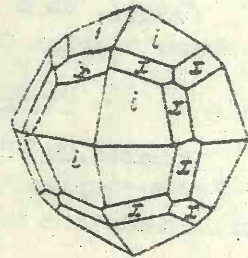
28



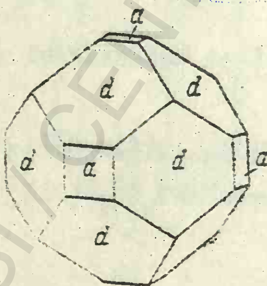
29



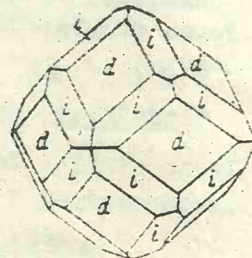
30



31



32



33

Fig.231n
- continuare -

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.

CRISTALOGRAFIA GEOMETRICĂ

A.FORMELE POLIEDRICE ALE CRISTALELOR

IX. CONCREŞTERI SIMETRICE DE CRISTALE SAU MACLE

Atît în cazul formelor simple cît şi în cazul formelor compuse, examinate anterior, am avut de-a face cu indivizi cristalini izolaţi. In realitate însă, cristalele se găsesc foarte frecvent, grupate, mai multe la un loc. De obicei se grupează cristale de acelaşi fel, dar se pot grupa şi cristale ale unor minerale sau substanţe chimice diferite.

După modul cum se grupează cristalele la creşterea lor, în general, ne vom ocupa în capitolul de cristalogeneză. Aici ne vom ocupa numai de grupările de indivizi cristalini asociaţi ca urmare a concreşterii simetrice, grupări care se numesc m a c l e.

Macla este un complex cristalin care apare ca format din doi sau mai mulţi indivizi cristalini,asociaţi pe baza unor anumite legi de simetrie.

După modul de asociere a indivizilor cristalini, se deosebesc două feluri de macle: macle de alipire sau juxtapunere şi macle de penetraţie sau de întrepătrundere.

Indivizii cristalini maclaţi sînt aşezaţi simetric unul faţă de altul, fie în raport cu o axă de simetrie,nu-

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

mită axă de maclă, fie în raport cu un plan de simetrie numit plan de maclă.
Planul de maclă şi axele de maclă de ordin par nu pot fi elemente de simetrie ale indivizilor cristalini căci, în acest caz, macla s-ar reduce la o simplă concreştere paralelă.

Şi în cazul elementelor de maclă se aplică legile de asociere a elementelor de simetrie studiate la cristalele izolate, ca de ex. legea după care, atunci cînd există două din elementele L^{2n}, $\overline{\pi}$, C (axă de ordin par, plan perpendicular sau centru), trebuie să existe şi al treilea.

Elementele de maclă reprezintă feţe, reale sau posibile de cristale, sînt deci şiruri sau plane de mare densitate reticulară, ca şi elementele respective de simetrie ale cristalelor unice.

In afară de planul de simetrie al maclei, planul de maclă, mai trebuie luat în consideraţie şi planul după care se face concreşterea indivizilor care compun macla şi care se numeşte plan de asociere al maclei.
Uneori, planul de asociere coincide cu planul de maclă, alteori însă nu coincide cu acesta. Şi planul de asociere este tot un plan de mare densitate reticulară, adică o faţă reală sau posibilă de cristal.
La maclele de alipire, planul de asociere este o suprafaţă regulată, pe cînd la maclele de întrepătrundere el se prezintă ca o suprafaţă complexă.

O maclă se caracterizează prin poziţia reciprocă a indivizilor cristalini maclaţi şi deci, prin elementele sale de simetrie.

Indivizii cristalini care compun macla, pot fi aduşi astfel ca să se suprapună, aproape în toate cazurile prin rotirea în jurul unei axe care este cuprinsă în planul de maclă sau, perpendicular pe acesta.

BCU IAŞI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1. MACLA DE ALIPIRE SAU JUXTAPUNERE

In această maclă indivizii cristalini sînt alipiţi după planul de maclă,iar alipirea se face după o rotire a cristalului asociat, în jurul axei de maclă.

Maclele obţinute prin învîrtirea cristalului asociat, de 180^{o}, se numesc macle prin hemitropie şi sînt cele mai frecvente.
Se cunosc trei feluri de macle prin hemitropie,corespunzătoare la trei legi de maclare:

hemitropii normale, paralele şi complexe.

1.1. Macle de hemitropie normală.

Cînd axa este perpendiculară pe planul de maclă,se spune că este o hemitropie normală. Un individ cristalin este alipit de vecinul său de maclă după o rotire de 180^{o} în jurul acestei axe.

a. In sistemul monoclinic este foarte obişnuită macla de hemitropie normală a gipsului,numită "coadă de rîndunică" (fig.232).

Aici, două cristale monoclinic prismatice sînt alipite după faţa (100), după ce unul din ele s-a rotit cu 180^{o} faţă de celălalt, în jurul unei axe perpendiculare pe această faţă.
Faţa (100) este un plan de asociere şi în acelaşi timp şi planul de simetrie al maclei,planul de maclă.

Maclele de hemitropie normală se notează prin indicii feţei de maclă, în cazul considerat, cu (100).

O maclă de hemitropie normală (100) se întîlneşte şi la augit(fig.233), iar la gips se mai întîlneşte şi macla de hemitropie normală (101), numită maclă "în fier de lance" sau macla de Paris (fig. 234).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

MACLE

I

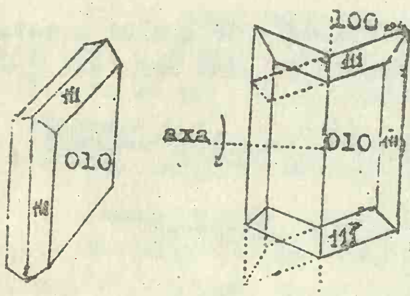


Fig. 232.

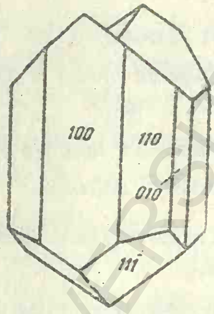
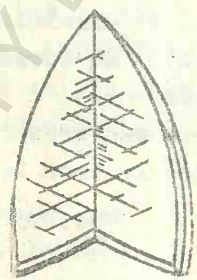


Fig. 233.


Fig. 234

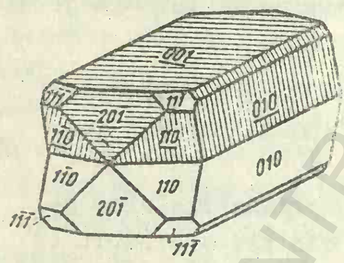


Fig. 235

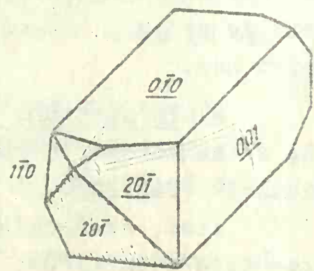


Fig. 236

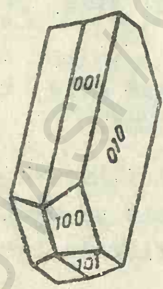


Fig. 237

HEMITROPIE NORMALĂ

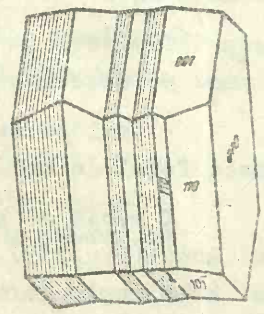


Fig. 238

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Tot în sistemul monoclinic se mai întîlnesc şi două macle de hemitropie normală ale ortozei: o maclă după faţa (001), numită macla de Manebach (fig. 235) şi alta după faţa (021), numită macla de Baveno (fig. 236).

b. <u>In sistemul triclinic</u>, se găseşte o maclă de hemitropie normală, foarte răspîndită, macla albitului. Faţa de asociere în macla albitului este faţa de pinacoid (010), fig. 237.

La unele macle de alipire ca şi la macla de alipire a albitului se observă în mod frecvent, o repetare alternativă a indivizilor maclaţi după aceleaşi feţe (fig.238). Asemenea macle se numesc macle alternante.

Uneori, perechile de lame de cristal maclate, se repetă foarte des, ca în cazul albitului. Asemenea macle se numesc macle polisintetice.

In secţiuni subţiri, la microscopul polarizant macla polisintetică apare în benzi paralele luminate şi întunecate în mod alternativ (fig.239). Pe această bază se recunosc cu uşurinţă o serie de minerale pentru care macla polisintetică este foarte caracteristică, cum este cazul feldspaţilor plagioclazi.

c. <u>In sistemul rombic</u> se găseşte macla de hemitropie normală a aragonitei, $CaCO_3$, (fig. 240). Maclarea se face în acest caz după faţa de prismă rombică (110). Şi aragonita prezintă în mod frecvent macle repetate alternativ. Uneori repetarea maclelor se face foarte des şi după aceeaşi faţă, dînd ca şi în cazul albitului macla polisintetică (fig. 241).

Alteori însă, planele de asociere corespund unor feţe echivalente, dar diferite şi se formează o maclă ciclică, în care repetarea se face în acelaşi sens (fig.242). Astfel, unul din indivizi maclează cu al doilea după faţa (110), iar cu al treilea, după faţa (1$\bar{1}$0). In felul acesta ciclul se închide, însă nu complet din cauză că unghiul de alipire nu

are 120^o, ci numai $116^o16'$. In locul gol care rămîne între cele trei prisme poate să crească unul din cele trei cristale şi macla capătă un contur pseudohexagonal. Prisma hexagonală care se formează este numai aparent regulată (fig. 243).

d. <u>In sistemul tetragonal</u>, cele mai frecvente sînt maclele de hemitropie normală după faţa (101) a bipiramidei tetragonale de specia II-a .O asemenea maclă se întîlneşte la casiterită (SnO_2).Din cauza formei, poartă numele de "maclă în vizieră" sau "maclă cioc de staniu" (fig.244).

Tot în sistemul tetragonal se găsesc o serie de macle de hemitropie normală la rutil (TiO_2). Aceste macle pot fi repetate alternativ sau ciclic (fig. 245). Astfel,o maclă după faţa (101), în care indivizii cristalini fac între ei un unghi, obtuz ($134^o25'$) poartă denumirea de maclă "în genunchi" (fig. 246), iar alta în care indivizii maclaţi fac între ei un unghi ascuţit, avînd planul de maclă (301) se mai numeşte maclă "în formă de inimă" (fig.247).

Uneori macla în genunchi cuprinde încă un individ cristalin, alipit în acelaşi sens, iar alteori, trei macle în genunchi închid ciclul,cînd o maclă ciclică cu contur hexagonal (fig. 248).

e. <u>In sistemul trigonal</u>, foarte răspîndite, sînt maclele de hemitropie normală ale calcitei ($CaCO_3$).

- Astfel se întîlneşte o maclă formată prin alipirea a doi scalenoedri ditrigonali sau a doi romboedri,după pinacoidul bazal (0001), în urma unei rotiri de 60^o în jurul axei ternare (fig.249).

- Prin alipirea a doi romboedri după faţa $(01\bar{1}2)$ paralelă cu o muchie de romboedru, rezultă o maclă care este de multe ori polisintetică (fig.250).

Această maclă este foarte răspîndită mai ales în calcarele cristaline, unde s-a format pe cale mecanică, din cauza presiunilor tectonice.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

MACLE DE ALIPIRE
HEMITROPIE NORMALĂ
II


Fig. 239

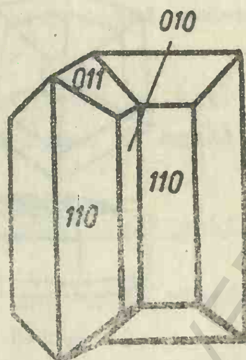


Fig. 240

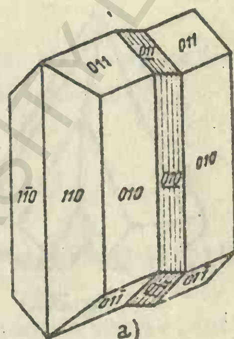


Fig. 241

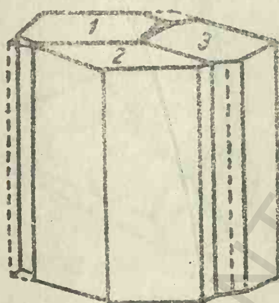


Fig. 242 a


Fig. 242 b

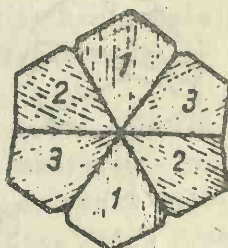


Fig. 243

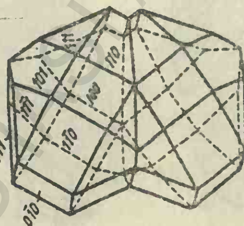
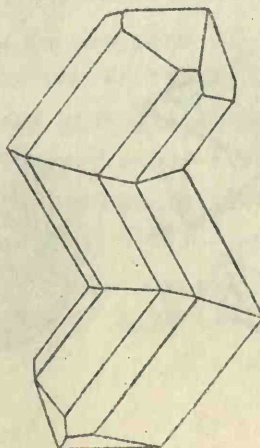


Fig. 244.


Fig. 245

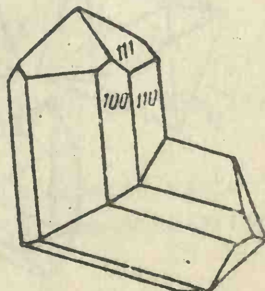
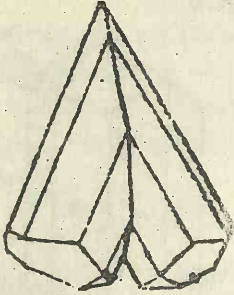
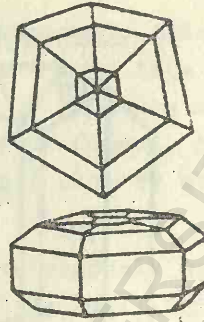


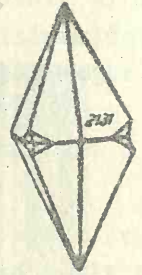
Fig. 246

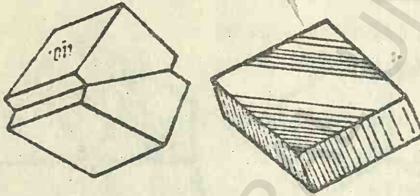
BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

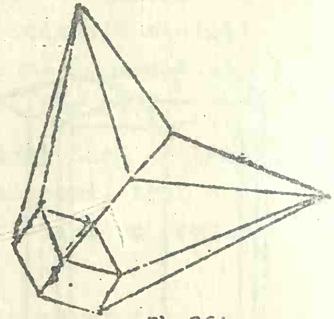
MACLE DE ALIPIRE
HEMITROPIE NORMALĂ
III


Fig. 247.


Fig. 248


Fig. 249.


Fig. 250.


Fig. 251

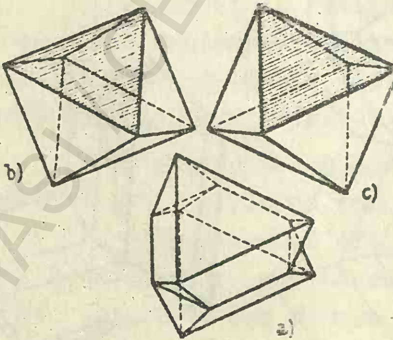


Fig. 252.

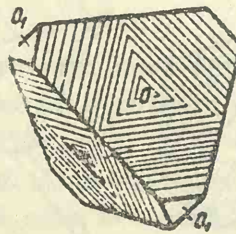


Fig. 253 a

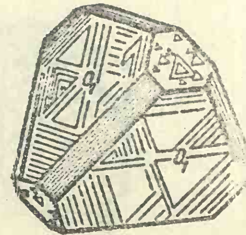


Fig. 253 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- După faţa ($10\bar{1}1$) de romboedru, se întîlneşte la calcită, macla în formă de fluture (fig. 251) şi aceeaşi maclă rezultă şi după faţa ($20\bar{2}1$).

f. In sistemul cubic este foarte cunoscută macla de hemitropie normală a spinelului ($MgSi_2O_4$), (fig.252). Ea este formată prin alipirea a doi octaedri, după faţa (111). Axa de maclă este axa L^3.

O asemenea maclă, după(111), se întîlneşte şi la blendă (fig. 253), adesea sub formă de maclă polisintetică.

1.2. Macle prin hemitropie paralelă

Aceste sînt mai puţin răspîndite decît cele prin hemitropie normală.
Aici, unul din indivizii cristalini care compun macla, este de asemenea rotit de 180°, dar în jurul unei axe care este cuprinsă în planul de asociere, deci paralelă cu el.

Pentru caracterizarea unei macle de hemitropie paralelă este nevoie să se arate, pe lîngă planul de maclă şi axa de maclă.
Astfel la ortoză, pe lîngă maclele de hemitropie normală pe care le-am văzut, se întîlnesc şi macle de hemitropie paralelă. Este foarte cunoscută macla cu planul de maclă (010) şi cu axa [001], numită maclă de Karlsbad A (fig. 254). Uneori aceste cristale se întrepătrund (fig.255).

Tot cu faţa de asociere (010), dar cu axa [100], se formează altă maclă numită "Ala B".

In alte macle axa rămîne neschimbată şi se schimbă planul de asociere, ca de ex.:
"Karlsbad B" cu axa [001], dar cu planul (100) şi "Ala A", cu axa [100] ,dar cu planul (001).

O particularitate remarcabilă a acestor macle este aceea că, dacă axa de maclă este determinată ca fiind

o muchie a cristalului, cuprinsă în planul de maclă, în schimb, planul de maclă poate fi variabil.
Acest plan variază cu compoziția chimică a cristalului, fiind însă o față din aceeași zonă.

- In sistemul triclinic se întîlnește o astfel de maclă la feldspații plagioclazi: așa numita macla periclinului. Aceasta are ca axă de maclă muchia [010], pe cînd planul de maclă este o față din zona (001)/(100) = [010], a cărei poziție față de pinacoidul bazal (001), variază între + 35^{o} la albit și - 17^{o} la anortit, (fig. 256).

1.3. Macle de hemitropie complexă

Există macle de alipire în care indivizii sînt aranjați atît după hemitropia normală cît și după hemitropia paralelă.
Aceste macle au fost numite de către Fedorov, macle de hemitropie complexă.

Maclele complexe sînt de asemenea întîlnite în seria feldspaților plagioclazi și cea mai răspîndită este macla complexă "albit" plus "Karlsbad A" (fig.257).

Pentru a obține macla complexă, se rotește de ex. unul din indivizi cu 180^{o} în jurul unei axe perpendiculare pe fața de maclă (010), apoi, același individ cristalin se rotește din nou, tot cu 180^{o}, în jurul unei muchi cuprinse în planul de maclă (001), de ex.
Aceste două rotații succesive pot fi înlocuite printr-o singură rotație în jurul unei axe situate în planul de maclă și perpendiculare pe axa de hemitropie paralelă.

Macla complexă respectivă se notează prin această axă, [001] și prin planul de asociere, (010), astfel: [001]/(010), (fig. 258). Maclele complexe se recunosc la microscopul polarizant.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

MACLE DE ALIPIRE
HEMITROPIE PARALELĂ
IV

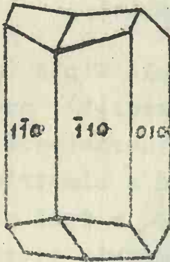


Fig. 254

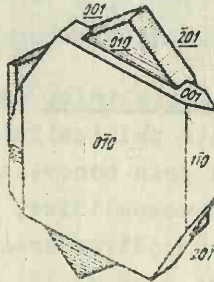


Fig. 255

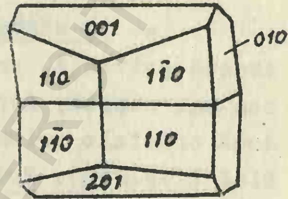


Fig. 256

HEMITROPIE COMPLEXĂ

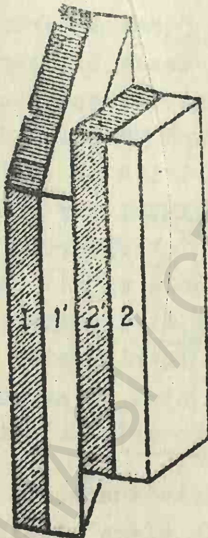


Fig. 257.

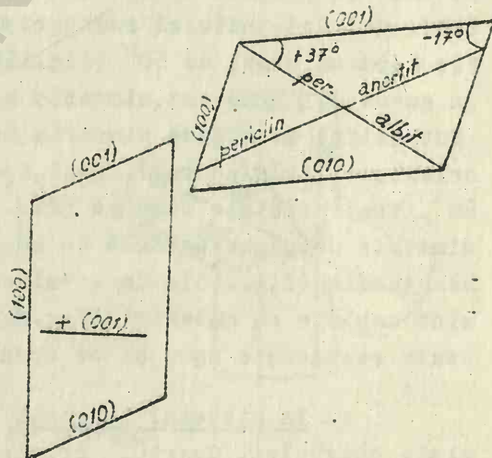


Fig. 258.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. MACLE DE INTREPATRUNDERE SAU PENETRAŢIE

Aceste macle sînt formate din doi indivizi cristalini care se intrepătrund, după ce unul din ei a fost rotit în jurul unei axe.

Formele meriedrice care se asociază în acest mod, formează o maclă de meriedrie, a cărei simetrie este mai ridicată decît simetria indivizilor cristalini.

a. In sistemul monoclinic, un exemplu tipic în această privinţă, prezintă philipsitul (un zeolit): macla cea mai simplă, formată prin concreşterea încrucişată a două cristale prismatic-monoclinice, capătă o simetrie rombică (fig.259). Prin întrepătrunderea la 90° a două asemenea macle, se formează altă maclă, cu simetrie tetragonală (fig. 260). Mai departe, prin întrepătrunderea a trei macle tetragonale, după trei direcţii perpendiculare, se formează un edificiu complex de macle, cu simetria cubică (fig.261).

b. In sistemul rombic, este bine cunoscută macla staurolitului; $Fe\ Al_4[SiO_4]_2\ O_2(OH)_2$, în formă de cruce, de unde şi denumirea mineralului (stavros=cruce,litos=piatră). Cei doi indivizi romboprismatici sînt întrepătrunşi, fie după un unghi de 60° (fig.262), fie după 90°(fig. 263). In acest din urmă caz,simetria maclei se ridică la ordinul 4. Tot astfel se ridică simetria în cazul cristalelor de crisoberil (alexandrit), $BeAl_2O_4$. Aici se întrepătrund la 60°, trei cristale rombice (fig.264) şi macla capătă o simetrie pseudohexagonală cu aspectul unei bipiramide hexagonale (fig.265). In cazul cînd toate intrîndurile maclei sînt umplute cu material (fig.266), macla nici nu se mai poate recunoaşte uşor şi se spune că este o maclă mimetică.

c. In sistemul trigonal sînt foarte cunoscute maclele cuarţului. Cuarţul cristalizează în clasa axială a

MACLE DE INTREPĂTRUNDERE

I

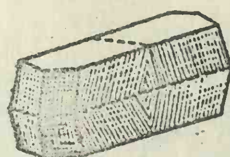


Fig. 259.

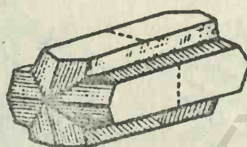


Fig. 260

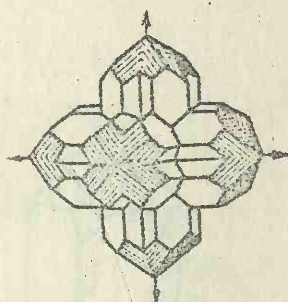
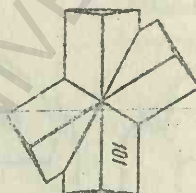
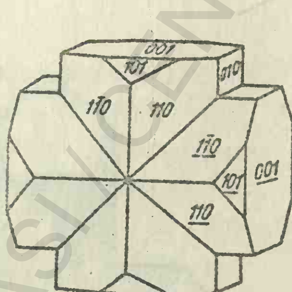


Fig. 261.





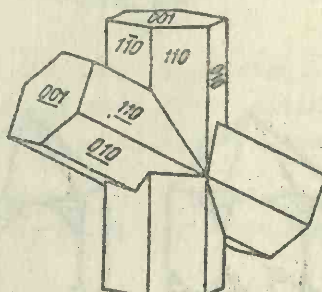
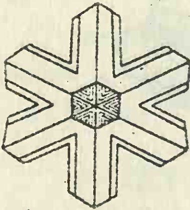
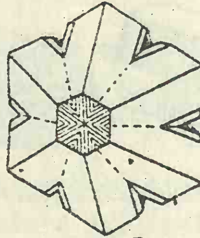
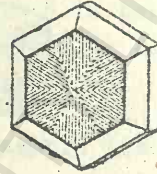


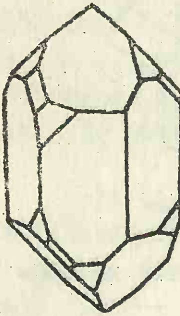
Fig. 263-262

MACLE DE INTREPĂTRUNDERE II


Fig. 264.


Fig. 265.


Fig. 266



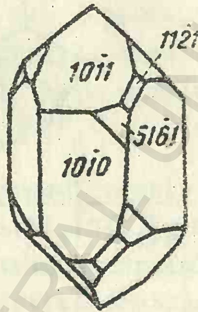


Fig. 267a

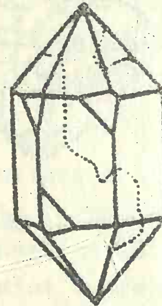

Fig. 267b,



Fig. 267

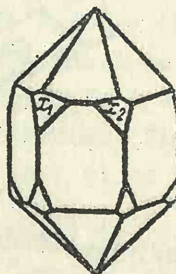
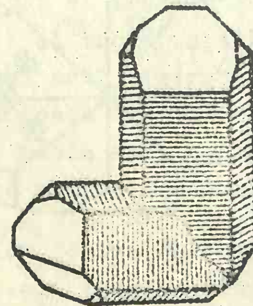


Fig. 268.


Fig. 269.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

a acestui sistem şi prezintă forme enantiomorfe, drepte sau stîngi, care sînt compuse din mai multe forme simple între care predomină prisma hexagonală de specia I$\{10\bar{1}0\}$; doi romboedri, unul pozitiv$\{10\bar{1}1\}^{+}$şi altul negativ, $\{01\bar{1}1\}$; două bipiramide trigonale de specia II-a, $\{11\bar{2}1\}$şi$\{2\bar{1}\bar{1}1\}$, care dau aşa numitele feţe rombice ale cuarţului şi trapezoedrul trigonal drept, $\{31\bar{6}1\}$ sau stîng $\{6\bar{1}\bar{5}1\}$, după cum feţele lui sînt în dreapta sau în stînga feţei de prismă de specia I-a. Aceste feţe arată dacă forma este dreaptă sau stîngă şi tot aceste feţe arată şi felul maclelor (fig.267 a).

Se cunosc la cuarţ trei macle importante:

- Macla Dauphiné, compusă din doi indivizi cristalini de aceeaşi fel, drepţi sau stîngi, întrepătrunşi după o rotire de 60° în jurul axei L^3. Ei formează un cristal unitar, iar macla se recunoaşte după simetria sa, mai ridicată, $\underline{L}^6 \underline{3}L^2 \underline{3}L'^2$. Se găseşte frecvent la cristalul de stîncă din Alpi, iar denumirea sa este legată de numele regiunii Dauphiné din Franţa (fig.267 b).

- Macla Braziliană, este formată prin întrepătrunderea a două cristale de cuarţ diferite, unul dreapta şi unul stînga.

Feţele celor doi trapezoedri trigonali se repetă alternativ, din 60° în 60°, dar cristalul capătă simetria clasei planaxiale a sistemului trigonal, $L_6^{3} 3L^2 C$. Feţele de

$- 3P^2$

trapezoedru trigonal ale celor doi indivizi maclaţi sînt dispuse simetric prin oglindire, pe trei feţe alternative de prismă hexagonală (fig.268). Se întîlneşte frecvent la ametistele braziliene.

După cum am văzut, aceste macle ale cuarţului sînt macle prin meriedrie.

- Macla japoneză, este o maclă complxă, formată prin concreşterea a două macle Dauphiné sau Braziliene, după faţa de bipiramidă trigonală $(11\bar{2}2)$, la un unghi aproape drept (84°33'), fig.269).

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Este o maclă rară. A fost găsită în Japonia dar se găseşte şi la cristalul de stîncă de la Baia Sprie şi Cavnic (Baia Mare) şi de la Baia de Arieş.

d. - In sistemul tetragonal, se întîlneşte macla calcopiritei ($CuFeS_2$), formată prin întrepătrunderea a doi tetraedri tetragonali cu colţurile tăiate, la 90^o unul faţă de celălalt în raport cu axa L_4^2.
Este o maclă de meriedrie; prin maclare ajunge la simetria clasei planaxiale (fig.270).

e. In sistemul cubic se întîlneşte deasemenea, o maclă formată din întrepătrunderea a doi tetraedri, în aceeaşi poziţie, la diamant. Şi aici, axele L_4^2 devin axe L^4; prin maclare se ajunge la simetria holoedrică (fig. 271).

Tot astfel, prin întrepătrunderea după L^2 a doi dodecaedri pentagonali de pirită, se formează macla "crucea de fier" a piritei (FeS_2), (fig. 272).

La fluorină (CaF_2) se întîlneşte o maclă formată prin întrepătrunderea a două cuburi, după axa L^3, în urma unei rotiri de 60^o (fig. 273).
O axă L^3 a devenit aici axă L^6; simetria cubică a fost înlocuită cu cea hexagonală. Simetria axei a crescut, însă simetria maclei, în general, nu se poate spune că a crescut.

3. MACLE MIMETICE

Unele cristale au aspectul unor forme simple sau compuse, apărînd ca indivizi cristalini. In realitate ele sînt formate din multe lame de cristale cu simetrie inferioară celei a întregului complex. Aceste asociaţii se numesc macle mimetice. Ele se deosebesc de indivizii cristalini, de multe ori, după unele caractere exterioare şi anume: între indivizii cristalini maclaţi se observă mai totdeauna unghiuri intrînde, care nu se întîlnesc niciodată la cristalele izolate; alteori indivizii maclaţi sînt contopiţi în aşa fel încît dau aspectul unui singur cristal, dar

MACLE DE INTREPĂTRUNDERE
III

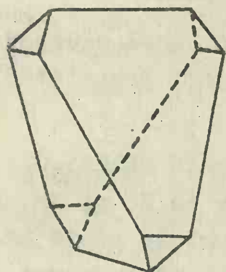


Fig. 270 a

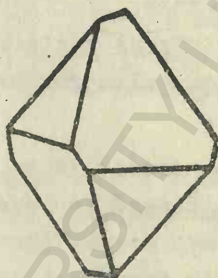


Fig. 270 b.

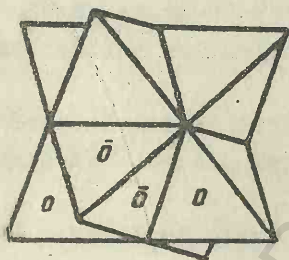


Fig. 271.

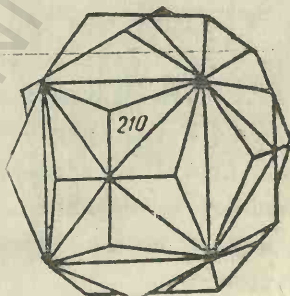


Fig. 272 a

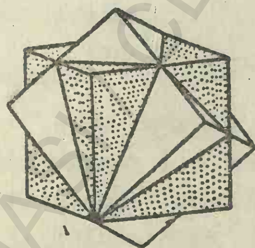


Fig. 273

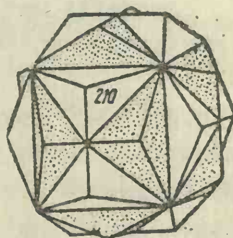


Fig. 272 b.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

examenînd cristalul cu atenţie, macla se recunoaşte, fie prin unghiurile intrînde care mai pot fi totuşi observate, fie prin urma neregulată a feţelor de asociere, fie prin aspectul neomogen al feţelor care pot fi, unele cu striuri sau punctuaţii, altele lipsite de acestea.

Unele macle mimetice nu pot fi însă recunoscute decît pe calea roentgenometrică sau după proprietăţile lor optice.

Astfel de ex., mineralul, leucit ($KAlSi_2O_6$), care cristalizează în lavele bazice bogate în Fe şi Mn, cum este lava de la Vezuviu, la temperaturi de peste 620°, sub formă de tetragontrioctaedru, trece la temperaturi coborîte într-un edificiu de lamele cu simetrie tetragonală, maclate polisintetic după feţele de dodecaedru romboidal, dar îşi păstrează în ansamblu, forma exterioară (fig.274). Această formă este însă pseudocubică deoarece unghiurile diedre dintre feţe nu corespund unghiurilor tetragontrioctaedrului din sistemul cubic.
Feţele de tetragontrioctaedru prezintă striaţii care pun în evidenţă lamele maclate, care s-au dovedit că aparţin sistemului tetragonal.
Unii autori numeau tetragontrioctaedrul, după acest mineral, leucitoedru.

S-a constatat că prin încălzire la 620°, leucitul îşi recapătă proprietăţile simetriei cubice şi parametrii devin : a = 13,4 Å în loc de a:c = 12,95 : 13,65 Å.

Asemenea macle se întîlnesc şi la granaţi care sînt nişte silicaţi de tipul $x_3y_2z_3O_{12}$ în care

$x=Ca,Mg,Fe^{2+},Mn^{2+}$;$y=Al,Fe^{3+},Cr^{3+}$, iar z = Si,P,As.
S-a constatat la un granat cristalizat sub formă de dodecaedru romboidal că este în realitate o maclă compusă din 12 piramide rombice cu vîrful în centrul cristalului şi cu baza pe faţa de dodecaedru rombidal.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Acestea pot reprezenta şi întrepătrunderea a 6 prisme rombice, după cele 6 axe L^2 ale clasei planaxiale a sistemului cubic, normale pe feţele de dodecaedru romboidal (fig.275).

Tot o maclă mimetică este cea întîlnită prin asocierea a 12 cristale monoclinice de philipsit sub formă de dodecaedri romboidali, pe care o capătă în urma umplerii golurilor dintre cele trei grupe de macle, întrepătrunse la 90^{o}.

Aspect mimetic poate căpăta şi macla ciclică a argonitului sau macla de penetraţie a crisoberilului, pe care le-am văzut.

Unii cristalografi folosesc denumirea de macle mimetice, numai pentru maclele care au fost considerate, după forma lor exterioară, ca fiind cristale simple şi a căror indivizi componenţi nu se găsesc niciodată izolaţi. In acest sens, nici, macla cilică a aragonitului, nici macla ciclică a crisoberilului, care sînt pseudohexagonale, dar în realitate de singonie inferioară, nu sînt macle mimetice, ci ar putea fi numite macle mimetiforme.

4. STRUCTURA MACLELOR

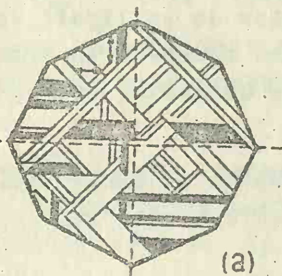
Din punct de vedere al structurii interne, macla este un edificiu cristalin unic, neomogen, dar constituit din părţi omogene aşezate simetric în raport cu elementele de simetrie ale maclei.

Reţelele indivizilor maclaţi sînt indentice şi se continuă de-o parte şi de alta a planului de maclă.

In majoritatea cazurilor macla prezintă o simetrie superioară indivizilor cristalini componenţi deoarece prin maclare apar elemente de simetrie noi, suplimentare.

Aceasta se observă mai ales în cazul maclării unor cristale meriedrice, cum am văzut de ex. la macla piritei, unde prin maclarea a două cristale meriedrice (dodecaedri pentagonali

MACLE DE INTREPĂTRUNDERE
MACLE MIMETICE
IV


(a)

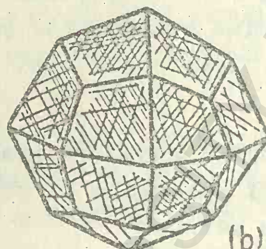
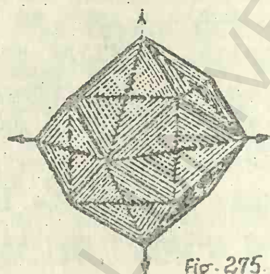

(b)

Fig. 274.


Fig. 275

STRUCTURA MACLELOR

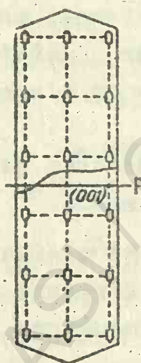
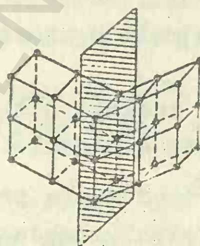


Fig. 276a


Fig. 276b.

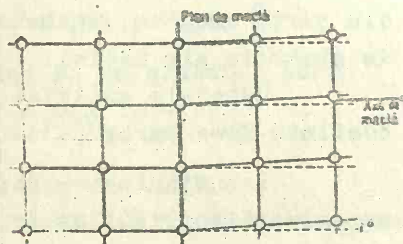


Fig. 279.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

din clasa centrică), se formează un complex la care apar şi elementele de simetrie suplimentare, restabilindu-se simetria holoedrică.

Numai orientarea diferită a "motivelor" cristaline meriedrice ale reţelelor cristalelor componente produce neomogenitatea edificiului maclat. Asemenea macle au fost numite macle prin meriedrie.
O astfel de maclă prin meriedrie se întîlneşte de ex. la calamină, $Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$. Ea se formează prin alipirea a două cristale rombice hemimorfe după monoedrul (001), simetria ridicîndu-se de la $L^2 2P$ la simetria holoedrică, $L^2L'^2L''^2C$ $P^2P'^2P''^2$. In acest caz reţelele celor doi indivizi maclaţi se prelungesc fără întrerupere, constituind o singură reţea de simetrie rombică (fig.276).

Alteori, edificiul maclat prezintă şi o reţea superioară proprie, care se prelungeşte de asemenea de-o parte şi de alta a planului de maclă, dar care nu cuprinde decît o parte a punctelor analoge ale reţelei cristalelor componente. Această reţea este un multiplu simplu al reţelei individului cristalin, iar reţeaua acestuia este meriedrică faţă de reţeaua maclei.

Asemenea macle sînt deci macle de meriedrie reticulară. Macla mecanică a calcitei ilustrează prin experenţa lui Baumhauer asemenea schimbări morfologice şi structurale ale cristalelor:

Aşezînd un romboedru de spat de Islanda în echilibru pe o muchie polară (fig.277) şi apăsînd cu o lamă de cuţit, perpendicular pe muchia opusă, la cîţiva mm. de vîrful L^3, această lamă pătrunde în interiorul cristalului ca într-un material plastic, provocînd deplasarea porţiunii dinspre L^3 într-o poziţie simetrică,în partea opusă (fig.278). Planul ab ce desparte porţiunea deplasată de cristalul nedeformat este planul de maclă $(01\bar{1}2)$.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

FORMAREA MACLELOR
MACLE MECANICE

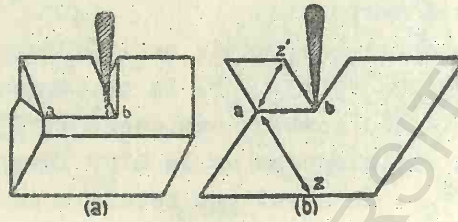


Fig. 277 a

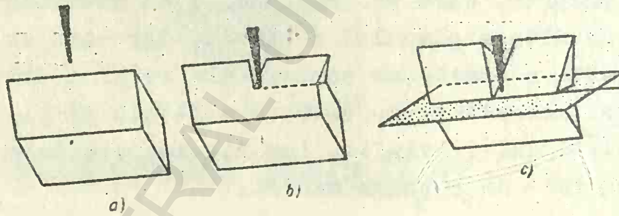


Fig. 277 b

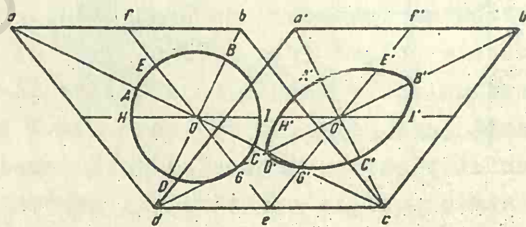


Fig. 278.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Axa L^3 în poziţia z' b, paralelă cu z a, capătă la maclare o poziţie z-a simetrică cu aceasta în raport cu planul de simetrie ab al maclei.

Este posibilă şi operaţia inversă. Strîngînd într-o presă colţurile ascuţite opuse ale romboedrului de calcită astfel maclat, cristalul revine în poziţia iniţială. Aceste deplasări se explică prin translaţia tuturor punctelor porţiunii deplasate în direcţia muchiei polare, simetric, de cealaltă parte a planului.

La unele macle, şirurile reticulare ale reţelei simple sau multiple nu se prelungesc exact de o parte şi de alta a planului de maclă ci prezintă o deviaţie de cîteva grade numită "oblicitatea maclei" (fig.279).
Aceste cristale prezintă o simetrie foarte apropiată de simetria imediat superioară şi se numesc pseudosimetrice.

Astfel, un cristal monoclinic cu un unghi foarte apropiat de 90°, se spune că are o simetrie pseudorombică;un cristal romboedric cu unghiurile foarte apropiate de 90° după axele lui Miller, se spune că este pseudocubic.

Prin maclarea unor astfel de cristale, elementele de pseudosimetrie pot deveni elemente de simetrie ale maclei.
Reţelele cristalelor componente nu sînt riguros simetrice faţă de planul de maclă, iar cristalele sînt pseudomeriedrice în raport cu simetria maclei. Asemenea macle prin meriedrie se întîlnesc la rutil (TiO_2), zircon ($ZrSiO_4$), feldspaţi,zeoliţi etc.

5. GENEZA MACLELOR

Geneza maclelor este variată.Se ştie că se formează macle în timpul creşteri cristalelor din soluţii suprasaturate sau din topituri, prin răcire bruscă şi că se pot forma macle şi după creşterea cristalelor, în urma schimbărilor

de temperatură, cum am văzut la leucit, sau din cauza presiunii, cum am văzut la calcită (macle mecanice).

Maclarea constă, în esenţă, dintr-o aranjare sau rearanjare reticulară, în care agregatele reticulare capătă poziţii simetrice corelate, după legile de maclare. Este vorba de o poziţie specială de echilibru a edificiului cristalin, în care atomii sînt repartizaţi periodic într-o reţea unică ce se prelungeşte, deoparte şi de alta a planului de maclă.

Această poziţie de echilibru poate fi provocată ca în experienţa lui Baumhauer sau, în modul cel mai frecvent, se realizează spontan datorită cauzelor amintite, dar după un mecanism încă neprecizat.

Maclele sînt adesea caracteristice pentru unele minerale, cum sînt feldspaţii plagioclazi, care apar de regulă maclaţi polisintetic.

Alte minerale nu apar niciodată sub formă de macle.
Absenţa şi mai ales prezenţa şi caracteristicile maclelor servesc ca un criteriu important în recunoaşterea unor minerale.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.

C R I S T A L O G R A F I A G E O M E T R I C A.

B.

S T R U C T U R A I N T E R N A A C R I S T A L E L O R

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.

CRISTALOGRAFIA GEOMETRICA

B. STRUCTURA INTERNA A CRISTALELOR.

X. IPOTEZE ŞI TEORII ASUPRA STRUCTURII INTERNE.

De mult s-a presupus că forma externă a unui cristal ar reprezenta imaginea structurii sale interne.

1. IPOTEZE GEOMETRICE

1.1. Cr. Huyghens (1690) a explicat proprietăţile optice ale calcitei prin aranjarea regulată a particulelor elipsoidale care ar constitui cristalul romboedric (fig.280).

1.2. M.V.Lomonosov (1749) în lucrarea sa "Despre salpetru" consideră că forma hexagonală de salpetru se datoreşte modului de aranjare a particulelor sferice, pe care le numeşte corpuscule, din care sînt alcătuite. Astfel, aşezînd în modul cel mai strîns, sfere identice ca dimensiuni, în jurul unei sfere centrale vom putea aranja şase asemenea sfere. Centrele acestor sfere formează un hexagon regulat.

Un număr mare de asemenea particule sferice foarte mici, aşezate cît se poate de des, vor alcătui figuri asemănătoare hexagoanelor salpetrului. Figura din manuscrisul lui Lomonosov (fig.281) ne dă o idee clară despre felul cum acesta a reprezentat structura cristalelor.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Prin aceste păreri Lomonosov a anticipat, în mare parte, concepțiile contemporane despre această structură. Si astăzi, într-o primă aproximație, se consideră structurile ca așezări foarte dense ale sferelor de acțiune ale atomilor sau ionilor.

1.3. - T.Bergman, tot pe la mijlocul secolului XVIII-lea, consideră calcita constituită din romboedri primitivi, galena și sarea din cuburi primitive etc., după formele de clivaj.

1.4. - R.J.Haüy, cunoscînd proprietatea pe care o au unele cristale de a cliva, și considerînd că diviziunea prin clivaj a cristalelor nu poate merge la infinit, formulează în 1781, o teorie după care, cristalul este format dintr-o serie de particule în formă de paralelepipezi, pe care le numește "molecule integrante".
Molecula integrantă ar avea forma paralelepipezilor care rezultă prin clivaj; de ex. pentru calcită, forma de romboedru etc.

Dar galena se mai întîlnește adesea și în formă de octaedru sau de dodecaedru romboidal. El explică aceasta tot cu ajutorul moleculelor integrante, pe care le consideră unite prin descrescemță (fig.282).
In teoria lui Haüy s-au găsit contradicții. Intre altele. nu se putea explica clivajul octaedric al fluorinei (CaF_2). Intradevăr, unind octaedrii prin fețele lor, nu se poate completa spațiul, rămîn goluri.

1.5. - E.S.Fedorov, prin teoria sa asupra paraleloedrilor, din 1885, înlătură această contradicție.
El consideră că există patru tipuri de poliedre cu ajutorul cărora se deduc toate poliedrele convexe cunoscute. Acestea fiind egale, paralele și adiacente după fețe întregi, unplu în întregime spațiul. Aceste tipuri de poliedre sînt:

- Triparaleloedru (cu trei perechi de fețe paralele); cel mai simetric triparaleloedru este cubul (fig.283);

- Tetraparaleloedru (cu patru perechi de fețe paralele și egale); cel mai simetric este în formă de prismă hexagonală cu baza un hexagon regulat (fig.284).

- Hexaparaleloedru (cu șase perechi de fețe paralele și egale între ele); cel mai simetric este dodecaedrul romboidol (fig.285).

- Heptaparaleloedru (cu șapte perechi de fețe (paralele și egale între ele); cel mai simetric paraleloedru de acest tip este o formă compusă din cub și octaedru, cu toate muchiile egale (fig.286).

Toate celelalte paraleloedre, mai puțin simetrice, se deduc din acestea prin deformări (alungiri, alunecări).

Fedorov observă ca la umplerea spațiului cu aceste paraleloedre, anumite puncte, de ex. centrele lor de greutate, formează anumite rețele:

- La cub se formează o rețea cubică simplă sau rețea hexaedrică (fig.287);

- La completarea spațiului cu tetraparaleloedrele cele mai simple, centrele lor de greutate formează o rețea prismatică, cu nodurile pe vîrfurile de prismă hexagonală și pe centrele bazelor (fig.288);

- Completarea spațiului cu hexaparaleloedre în formă de dedecaedri romboidali duce la o rețea cubică cu fețe centrate (dodecaedrică, fig.289);

- In fine, completarea spațiului cu heptaparaleloedre de formă cub-octaedru, duce la o rețea cubică centrată intern (octaedrică, fig.290).
Toate celelalte rețele, mai puțin simetrice, se deduc din acestea prin deformări.
Sînt în total deci, patru tipuri de rețele: trei tipuri deduse din rețelele cubice și un tip, din cea hexagonală.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

IPOTEZELE GEOMETRICE ASUPRA STRUCTURII CRISTALELOR
I

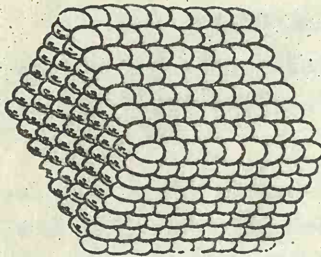


Fig. 280 a

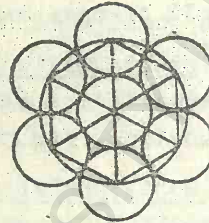


Fig. 281

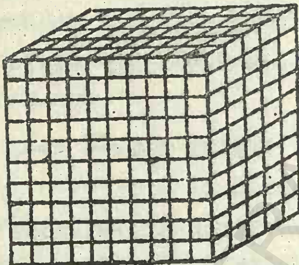


Fig. 282 a

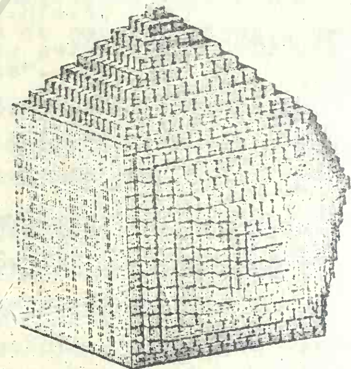


Fig. 282 b.

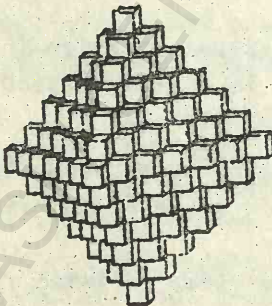


Fig. 282 c

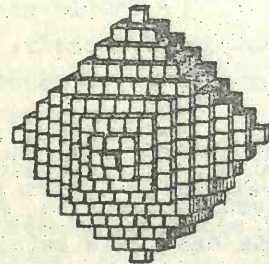


Fig. 282 d

IPOTEZE GEOMETRICE
II

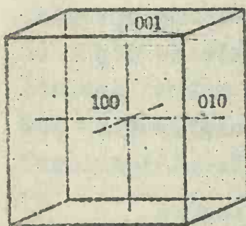


Fig. 283 a

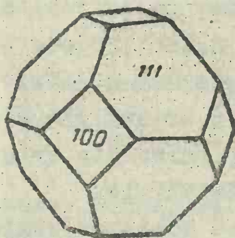


Fig. 286

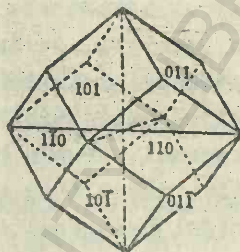


Fig. 285

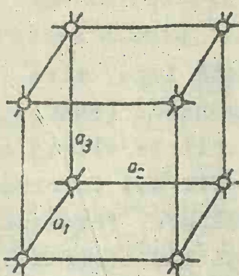
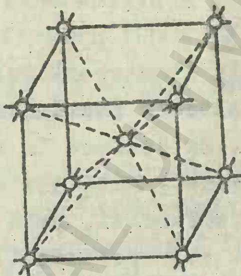
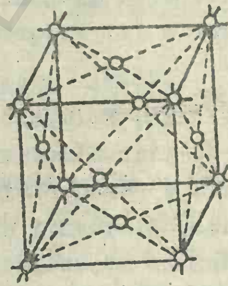
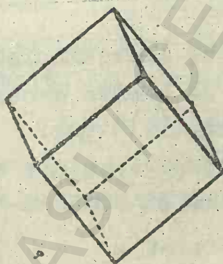


Fig. 287


Fig. 290


Fig. 289


Fig. 283 b.

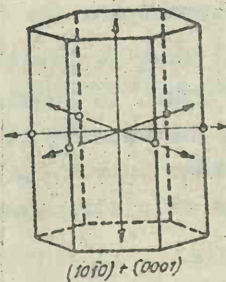

(10$\bar{1}$0) + (0001)

Fig. 284



Fig. 288

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Astfel stabileşte Fedorov legătura dintre forma exterioară şi structura internă. El a ajuns la concluzia că lumea cristalelor se împarte în două tipuri: tipul cubic şi tipul hexagonal. Cristalele de tipul cubic se apropie, prin unghiuri, de cristalele cubice, iar cele de tipul hexagonal, de cristalele hexagonale.
De tipul cubic ţin toate cristalele sistemului cubic şi tetragonal, precum şi o parte din cristalele sistemelor rombic, monoclinic şi triclinic.
In tipul hexagonal intră toate cristalele hexagonale şi o parte din cele trigonale, rombice, monoclinice şi triclinice.

In aceasta constă esenţa uneia din legile fundamentale ale cristalografiei, numită „legea limitelor cristalografice" a lui Fedorov.

Cîteva exemple ilustrează această lege: mica, monoclinică, formează plăcuta pseudohexagonale; ($BaSO_4$) rombică, prin fisurare, se desface în aşchii de clivaj care prezintă o pseudocubicitate; mineralele cele mai importante din roci, piroxenii şi amfibolii, prin crăpare, formează unghiuri de aproximativ 90^o (piroxenii) şi 120^o (amfibolii).

1.6. - <u>A.Bravais</u>, unul din continuatorii lui Haüy, considerînd, în mod just, că forma particulelor componente ale cristalului nu este cunoscută (1855), s-a ocupat de problemele repartiţiei centrelor de greutate ale lor în interiorul corpului cristalin.

Pleoînd de la ideea omogenităţii şi anizotropiei cristalelor, Bravais a ajuns la concluzia că aceste centre de greutate trebuie să fie aşezate ca şi nodurile unei reţele spaţiale şi a dedus în total, 14 reţele spaţiale ce se deosebesc după forma celulelor elementare şi după simetrie.

Aceste 14 reţele se împart în 7 singonii. Prin deducţii matematice, folosind operaţia de traslaţie pe cele trei direcţii în spaţiu, Bravais a ajuns la aceleaşi

rezultate la care ajunsese pe cale expermentală la începutul sec. XIX, Weiss și Mohs.

Aceste rețele sînt, pentru sistemul cubic, în formă de cub și anume: cub simplu (particulele în colțuri), cub centrat intern (particulele în colțuri și în centru), și cub centrat pe fețe (particulele pe colțuri și în mijlocul fețelor (fig. 291).

Pentru sistemul tetragonal există o prismă tetragonală simplă și o prismă tetragonală centrată intern (fig.292).

In sistemul hexagonal este o singură rețea în formă de prismă hexagonală centrată pe fețele de bază, ca și cum ar rezulta din alipirea a trei prisme rombice, după aceeași muchie, la fiecare 120° (fig.293).

- In sistemul trigonal, rețeaua, unică, este un romboedru (fig.294) ;

- In sistemul rombic sînt patru rețele: o prismă cu toate secțiunile dreptunghiulare, de forma unei cărămizi; în fapt o prismă ortogonală formată din trei pinacoizi; a doua, asemănătoare, dar cu fețele de bază centrate; a treia centrată intern și a patra, centrată pe toate fețele (fig. 295).

- In sistemul monoclinic sînt două rețele tot de formă prismatică compuse din cîte trei pinacoizi, dar aplecate pe-o direcție; cu relația : $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ și cu particulele numai pe colțuri (fig.297)*.

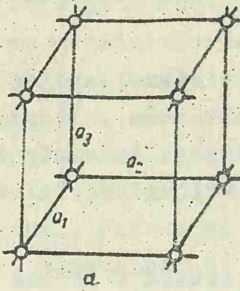
După cum se poate observa, aceste 14 rețele [illegible] se pot grupa în cîteva categorii, care au fost însemnate cu simboluri semnificative :

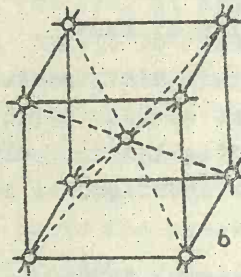
- Rețelele primitive (simple) de formă prismatică se înseamnă cu P; cea în formă de romboedru, cu R;

- Rețelele cu baze centrate se înseamnă cu C;

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

REȚELE BRAVAIS





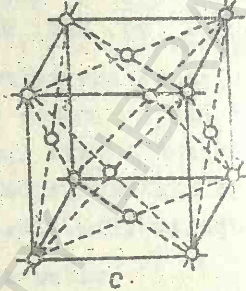


Fig. 291

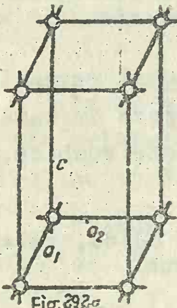


Fig. 292a

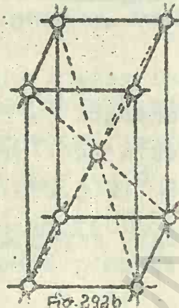


Fig. 292b

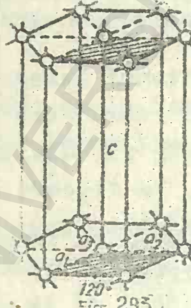


Fig. 293

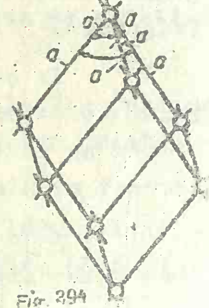
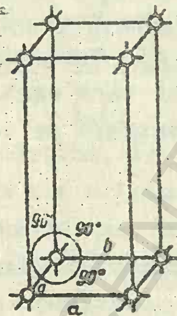
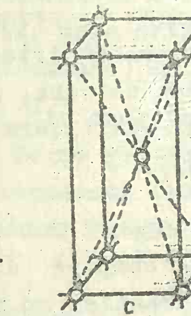


Fig. 294







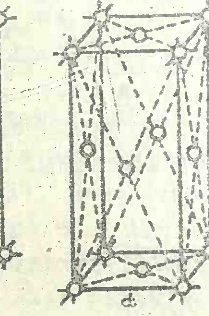
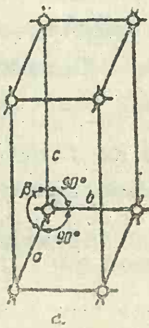


Fig. 295



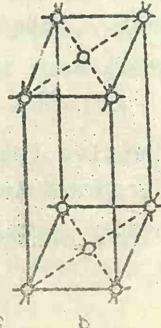


Fig. 296

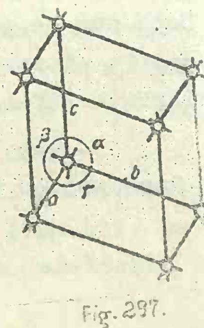


Fig. 297

- Reţelele cu volum centrat se înseamnă cu J;
- Reţelele cu toate feţele centrate se înseamnă cu F.

Reţelele lui Bravais nu pot explica însă structura majorităţii cristalelor care nu aparţin claselor planaxiale, nu pot explica structura formelor hemimorfe, unele forme enantiomorfe etc.
Se pot deduce cu ajutorul acestor reţele numai structurile cu particule similare aşezate paralel între ele şi legate prin translaţii paralele.

Fiecare reţea Bravais reprezintă în fond o sumă, o grupă spaţială de translaţii. Fiecare particulă este deplasată paralel pe cele trei direcţiuni, formînd reţeaua spaţială.

1.7. - Sohncke, în 1879 formulează o teorie mai completă, introducînd pe lîngă translaţie şi operaţia de rotire şi de asemenea,combinaţia lor, rotire-translaţie (axa helicoidală).
Pe baza acestor operaţiuni el construieşte 65 de "sisteme de puncte".

Nici teoria lui Sohncke nu este însă satisfăcătoare, nici ea nu poate explica simetria unor cristale ca cele hemimorfe, enantiomorfe etc.

2. TEORII CU PRIVIRE LA STRUCTURA INTERNA

- Fedorov (1890), Schoenflies (1891) şi Barlow (1897), independent unul de altul au dat o soluţie definitivă acestei probleme, stabilind toate aranjamentele posibile, după operaţiunile de acoperire: translaţie, rotire, oglindire şi combinaţiile lor.

Schoenflies a numit aceste aranjamente, grupe spaţiale sau aranjamente spaţiale şi sînt în număr de 230. Intre ele intră şi cele 65 sisteme de puncte ale lui

Sohncke şi implicit, cele 14 grupe de translaţie ale lui Bravais.

Grupele spaţiale de elemente de simetrie se repartizează de asemenea în cele 32 clase de simetrie, cunoscute de la poliedrele cristaline, deci în cele 7 sisteme cristaline.

Această ipoteză iniţială s-a verificat cu exactitate după descoperirea difracţiei razelor Roentgen prin cristale de către Laue din 1912, căpătînd forma unei teorii unitare.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.

CRISTALOGRAFIA GEOMETRICA

B. SIMETRIA INTERNA A CRISTALELOR

XI. S I M E T R I A   S T R U C T U R I I   I N T E R N E

1. ELEMENTELE DE SIMETRIE IN FIGURILE CRISTALINE INFINITE (STRUCTURI)

Am văzut, în cazul figurilor cristaline finite, al poliedrelor cristaline, că sînt posibile următoarele elemente de simetrie:

- Centrul de inversiune, C, ($\bar{1}$) ;
- Planele de oglindire, P, (m) ;
- Axele de rotire, L^2, L^3, L^4, L^6, (2,3,4,6) ;
- Axele compuse - de inversiune - L^2_{4i} şi L^3_{6i},($\bar{4}$,$\bar{6}$)şi
- de rotire-oglindire - L^2_{4m} şi L^3_{6m}.

Acestor elemente de simetrie le corespund, respectiv, operaţiile simple de acoperire şi operaţiile complexe: rostire-oglindire şi rotire-inversiune.

In cazul structurilor interne, pe lîngă acestea, mai avem şi alte elemente de simetrie:

- Axele de translaţie (mutaţie) ;
- Planele de reflexie cu alunecare şi
- Axele helicoidale.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

1.1. <u>Axele de translație</u>

Aceste axe corespund unei operații de translație a unui punct pe direcția axei respective.

Să considerăm segmentul AE (fig.298), cu punctele A,B,C,D,E . . situate la distanțe egale, AB=BC=CD=DE . . Printr-o translație de mărime $\overline{AB}$, punctul A trece în locul lui B,B în locul lui C etc.

In urma acestei operații, segmentul întreg AB se deplasează și ocupă o poziție nouă în spațiu, ce nu coincide cu prima poziție.

Suprapunerea se realizează dacă se consideră A,B,C,D,E ca noduri ale unui șir infinit, cu intervalul AB. In acest caz,după translație, în locul lui A vine un nod nou dispre stînga, în timp ce E trece în locul unui nod asemănător înspre dreapta, etc. și astfel întregul șir se suprapune peste el însuși. In felul acesta translația este posibilă la structurile infinite, în general, și deci și la structurile cristaline.

Elementul de simetrie corespunzător translației se numește axă de translație, iar mărimea celei mai mici translații de-a lungul acestei axe, după care figura se poate suprapune peste ea însăși, se numește pasul sau perioada translației.

1.2. <u>Planele de refaxie cu alunecare</u>, corespund unei operații compuse dintr-o translație pe direcția unui plan, urmată de oglindirea în planul respectiv.

După cum știm, rețeaua plană a NaCl are o formă (fig. 299), în care ionii de clor și sodiu se succed alternativ la infinit.

Socotind acest desen infinit de întins, observăm cu ușurință că de-a lungul liniei a-a, marcată pe figură întrerupt, trece un plan de reflexie cu alunecare. Intradevăr, pentru a suprapune ionul de clor (1),peste ionul

ambele (2), trebuie să mutăm primul ion paralel cu planul a-a, în locul ionului de Na situat sub el şi apoi să-l reflectăm în acelaşi plan a-a, perpendicular pe figură. Astfel întregul desen, infinit de întins, al NaCl se va suprapune cu el însuşi.

Un asemenea plan va trece şi de-a lungul lui a_1-a_1 şi alte plane analoge vor trece prin b-b şi b_1-b_1 etc.

În acest sistem sînt deci trei feluri de plane de reflexie cu alunecare:

- plane a, cu componenta egală cu $\frac{1}{2}$ din perioada de translaţie deci $\frac{\tau}{2} = \frac{a}{2}$ în direcţia axei [100], după un plan (010) sau după (001);
- plane b, cu componenta $\frac{b}{2}$ în direcţia axei [010], după un plan (100) sau după (001);
- plane C, cu componenta $\frac{c}{2}$ în direcţia axei [001], după un plan (100) sau după (010).

Alt sistem de plane de reflexie cu alunecare este legat de translaţiile realizate în direcţia diagonalelor feţelor de paralelepiped elementar;

- plan paralel cu (100), cu translaţia $\frac{b}{2} + \frac{c}{2}$;
- plan paralel cu (010), cu translaţia $\frac{a}{2} + \frac{c}{2}$;
- plan paralel cu (001), cu translaţia $\frac{a}{2} + \frac{b}{2}$,

cînd rezultă puncte simetrice în mijlocul feţelor şi cu deplasarea $\frac{a}{2} + \frac{b}{2} + \frac{c}{2}$, cînd rezultă puncte identice aşezate în centrul paralelepipedului.

Planele de reflexie cu alunecare diagonale sînt notate ca plane n şi se întîlnesc la structurile (F) şi (J).

Prin translaţii de $\frac{1}{4}$ din diagonala feţelor sau $\frac{1}{4}$ din diagonala spaţială a paralelepipezilor, rezultă alt sistem de plane cu alunecare, notate cu litera d, astfel:

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- plane cu translaţia $\frac{b}{4} + \frac{c}{4}$

- plan cu translaţia $\frac{a}{4} + \frac{b}{4}$ sau cu translaţia $\frac{a}{4} + \frac{b}{4} + \frac{c}{4}$.

Planele d se întîlnesc la structurile de tip (F), particulare, cum este reţeaua diamantului (fig. 300).

Simbolurile grafice ale planelor cu alunecare constă din linii întrerupte (a,b), linii punctate (c), alternanţe de linii şi puncte (n), alternanţe linie, punct, săgeată, punct (d) etc.(fig.301).

1.3. Axele helicoidale sau helicogirele corespund unei operaţii compuse dintr-o rotire de n^{o}, cuplată cu o translaţie, paralelă cu această axă, pe o distanţă egală cu o fracţiune din perioada T, care se numeşte componentă helicoidală sau componentă de translaţie (t).

Perioada de translaţie T este distanţa dintre poziţia iniţială şi poziţia finală la care ajunge punctul considerat, în urma acestor operaţii repetate într-o rotire completă, de 360^{o}.

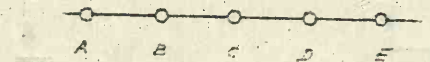
Mărimea translaţiei elementare este egală cu $\frac{1}{n}$ sau multiplu de $\frac{1}{n}$ din perioada de translaţie, n fiind ordinul axei; poate fi deci $\frac{1}{n}$ T, $\frac{2}{n}$ T etc., pînă la $\frac{n-1}{n}$ T.

Se înţelege că axa cu componenta $\frac{n}{n}$ T = T se reduce la axa simplă de ordinul n.

Vor exista n-1 axe helicoidale pentru fiecare axă simplă de ordinul n.

Axele helicoidale în cristale, ca şi axele simple şi compuse cunoscute, pot fi numai de ordinele 2,3,4 şi 6. Axa helicoidală de ordinul 1 corespunde unei translaţii simple.

SIMETRIA STRUCTURII INTERNE



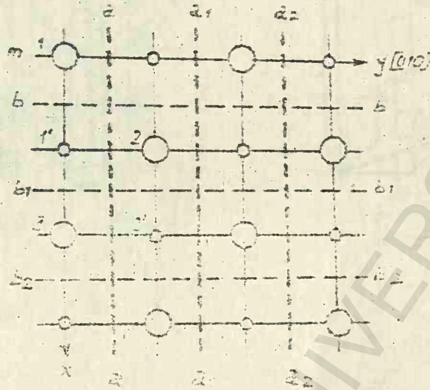


Fig. 299

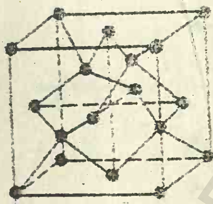
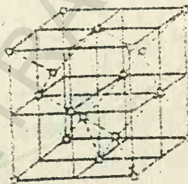
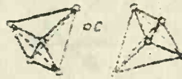
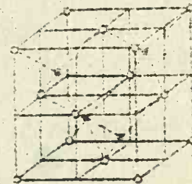


Fig. 300 a







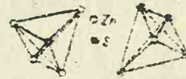


Fig. 300 b.

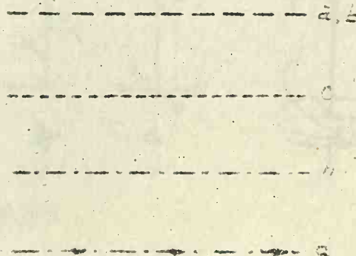


Fig. 301.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SIMETRIA STRUCTURII INTERNE AXE

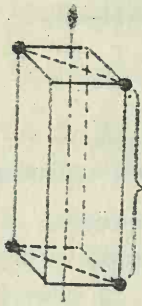



Fig. 302a




Fig. 302 b

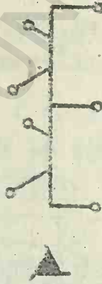




Fig. 303 a.



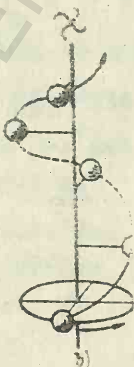


Fig. 304

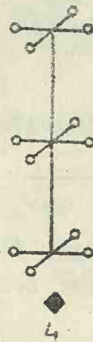




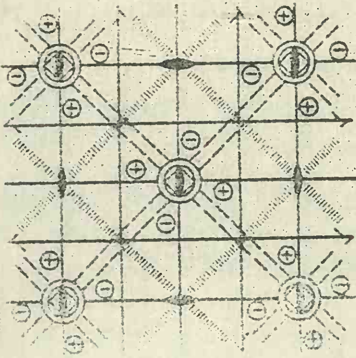


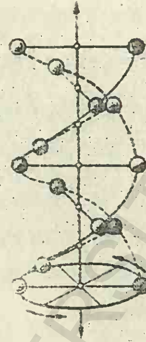


Fig. 304c

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ELEMENTE DE SIMETRIE
II


Fig. 304 b.


Fig. 305 b.

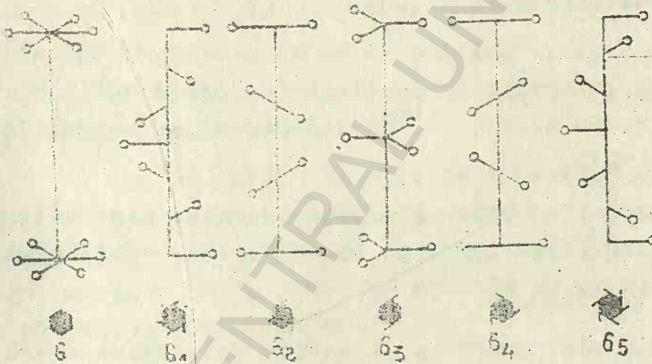


Fig. 305.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Axele helicoidale se notează cu cifra corespunzătoare ordinului axei, lîngă care se scrie, în dreapta jos, un indice care, raportat la ordinul axei, dă mărimea componentei de translaţie.

Vom avea deci axele helicoidale 2_1; 3_1, 3_2; 4_1, 4_2, 4_3; 6_1, 6_2, 6_3, 6_4 şi 6_5.

Se deosebesc de asemenea axe helicoidale drepte sau dextrogire şi stîngi sau levogire.

Se consideră dextrogire axele la care, privind de-a lungul direcţiei de translaţie, rotirea se face în sensul acelor de ceasornic şi levogire cele la care rotirea se face invers.

Axa helicoidală binară 2_1, este în acelaşi timp şi dreaptă şi stîngă (fig. 302).

Trihelicogira 3_1 este dreaptă pe cînd trihelicogira 3_2 este stîngă (fig.303).

La axele cuaternare se deosebeşte o helicogiră dreaptă (4_1), o helicogiră stîngă (4_3) şi o helicogiră neutră (4_2), cu acelaşi efect, indiferent de sensul de rotirii (fig.304).

La axele senare se deosebesc două axe dextrogire (6_1 şi 6_2), două axe levogire (6_4 şi 6_5) şi o helicogiră neutră (6_3), (fig.305).

Simbolul grafic al fiecărei helicogire arată simetria, ordinul, axei şi sensul rotirii, aşa cum sînt desenate în figurile arătate mai sus, pentru poziţiile verticale.

Pentru poziţiile orizontale pe care le pot avea tetrahelicogirele şi dihelicogira şi pentru poziţiile oblice pe care le poate avea dihelicogira şi trihelicogirele, sînt alte semne, mai complicate.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. ASOCIEREA ELEMENTELOR DE SIMETRIE IN STRUCTURA INTERNA

GRUPE SPAŢIALE

Prin asocierea elementelor de simetrie simple şi complexe după anumite reguli (în cazul nostru pe baza teoremelor enunţate) s-a ajuns la cele 32 de aranjamente şi grupări de elemente de simetrie ce caracterizează clasele de simetrie, în care sînt cuprinse toate poliedrele cristaline.

Asociind după aceleaşi reguli, elementele de simetrie ale poliedrelor cristaline şi cele noi, caracteristice structurii interne a cristalelor, se ajunge la formarea a 230 grupe de elemente de simetrie, aranjate regulat în spaţiu şi repetate în serii paralele, la infinit. Acestea s-au numit grupe spaţiale şi au fost deduse matematic, aşa cum am mai amintit, mai întîi de către Fedorov şi Schoenflies.

Ca şi clasele de simetrie, fiecare grupă spaţială are formula sa de simetrie.

Aceste grupe spaţiale se repartizează la rîndul lor în cele 32 clase de simetrie pe care le-am stabilit la poliedrele cristaline. Numărul de grupe spaţiale din diferite clase variază de la 1 (clasa monoedrică şi pinacoidală pînă la 28 (clasa rombobipiramidală).

Notaţia prescurtată după Schoenflies se face adăugînd la notaţia clasei o cifră care arată numărul grupei în clasa respectivă. Numărul se scrie în partea dreaptă, sus, a primei litere din simbol, de ex., pentru cele 4 grupe spaţiale care există în clasa C_3, notaţiile sînt:
C_3^1, C_3^2, C_3^3, şi C_3^4. Notaţia Maugain şi cea internaţională pleacă de la notaţia clasei în sistemul respectiv, adăugîndu-se în fruntea simbolului litera care arată tipul de reţea Bravais şi, intercalat, elementele de simetrie caracteristice

structurii interne (plane de alunecare după plane simple, axe helicoidale după axe simple sau complexe).
Grupele din clasa 3, de mai sus, se scriu respectiv, P 3, $P\ 3_1$, $P\ 3_2$, R 3.
Vom exemplifica combinaţiile de elemente de simetrie posibile în structura internă, chiar cu această clasă.

In clasa trigonal-piramidală sînt, după cum am văzut, 4 grupe spaţiale:

- Grupa C_3^1, respectiv - P 3 este formată numai din axe trigonale simple (gyre) paralele cu axa cristalografică z (fig. 306 a);

- Grupa spaţială C_3^2 - $P\ 3_1$ este formată numai din triheliooogire dextragire cu componenta helicoidală $\frac{c}{3}$, aşezate în locul trigirelor din grupa a (fig.306 b);

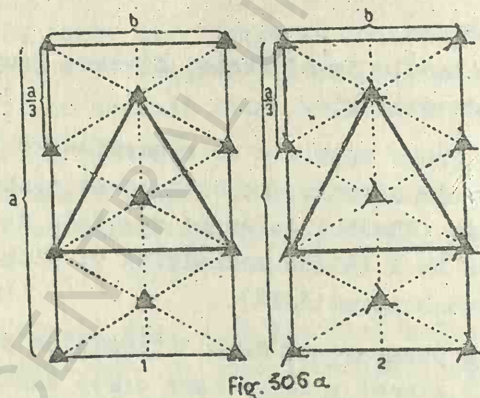


Fig. 306 a

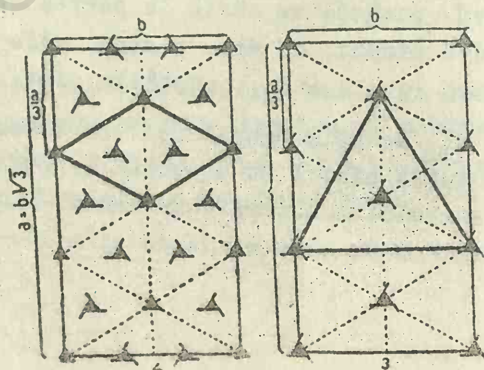


Fig. 306 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

- Grupa spațială C_3^3 - P 3_2 este formată numai din trihelicogire levogire cu aceeași componentă și cu aceeași poziție (fig.306 c);

- Grupa spațială C_3^4 - R 3 este constituită din axele trigonale simple cu poziția din grupa C_3^1, combinate cu trihelicogire dextrogire și levogire așezate alternativ, câte trei din fiecare, în jurul fiecărei trigire (fig. 306 d).

3. SISTEME REGULATE DE PUNCTE

Așa cum am văzut la proiecția stereografică a elementelor de simetrie ale celor 32 de clase, și aici există un spațiu delimitat de elemente de simetrie, prin care nu trece nici un element de simetrie, ca și la triunghiurile sferice elementare. Acesta se cheamă "domeniul fundamental".

Particulele constitutive ale substanței cristaline ocupă față de acest domeniu fundamental, poziții analoge cu cele ocupate de proiecțiile polilor de fețe în triunghiul sferic elementar; în interiorul domeniului fundamental ca poziții generale, pe axele de simetrie și pe planele de simetrie, care delimitează domeniul fundamental, ca poziții particulare.

Să considerăm grupa spațială P mm-C_{2v}^1 din clasa rombopiramidală. Această grupă spațială rezultă din combinarea grupului de elemente L^2 2P cu grupul de translații (T_1,T_2 și apoi T_3), fig.307 a.

In jurul grupului punctiform L^2 2P s-ar repeta polii fețelor de piramidă rombică (fig.307 b).

Reflectarea oricărui punct în planul de simetrie sau rotirea lui în jurul axei de simetrie, sau în fine, translația lui, îl deplasează într-o poziție de suprapunere cu un punct simetric egal.

GRUPE SPAȚIALE
SISTEME REGULATE DE PUNCTE

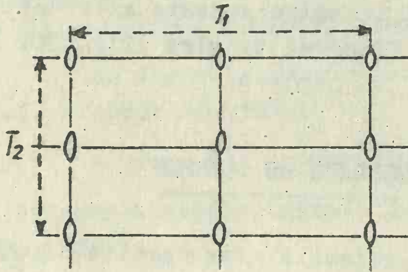


Fig. 307 a

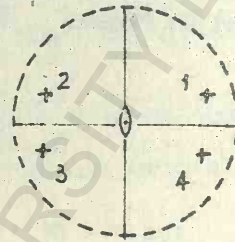


Fig. 307 b.

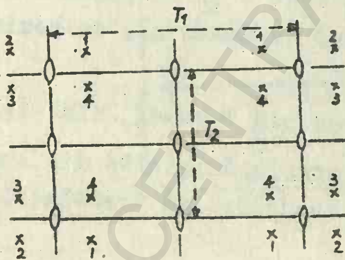


Fig. 307 c

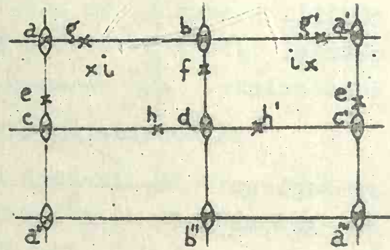


Fig. 308

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

în rețeaua infinită, întregul sistem de puncte din fig.307 b, se suprapune cu sine însuși (fig. 307 c).

Am considerat aici proiecția după planul perpendicular pe axa z; prin efectul celei de-a treia translații, T_3, în direcția acestei axe,tot sistemul se multiplică și se formează celulele elementare.
Punctele care se repetă conform simetriei acestei grupe spațiale formează rețele tridimensionale, întrepătrunse și congruente, de tipul rețelelor Bravais, pentru fiecare fel de atomi sau ioni care intră în compoziția cristalului.

Un punct situat în poziția generală are trei grade de libertate, un punct situat pe un plan de simetrie are două grade de libertate, iar un punct situat pe o axă de simetrie are un singur grad de libertate. Pentru un punct situat în centrul de simetrie, gradul de libertate se reduce la zero.
Pe măsură ce scade numărul gradelor de libertate simetria ansamblului scade, însă simetria punctului crește, în cazul gradului de libertate zero fiind maximă.

In grupa spațială P mm sînt, după cum se poate vedea (fig. 308), 9 poziții în care se poate situa punctul generator (a,b,c,d,e,f,g,h și i). Sînt posibile 9 sisteme regulate de puncte.Dintre acestea, sistemul (i) este sistemul general, iar celelalte sînt sisteme particulare.

Așa cum am stabilit cu ajutorul proiecției stereografice numărul formelor simple posibile la cristale, putem să stabilim și numărul de"sisteme regulate de puncte" în fiecare grupă spațială, repetînd după elementele de simetrie ale motivului cristalin, un punct generator de rețea pentru fiecare din pozițiile pe care le oferă domeniul fundamental. S-a calculat astfel că sînt posibile 654 de sisteme regulate de puncte,așa cum la poliedrele cristaline se găsesc 49 de forme simple posibile.

După cum la poliedre era important numărul de fețe al diferitelor forme simple, la structuri este esențial numărul de puncte ce revin unei celule elementare.

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Poziţia particulelor din celula elementară se determină cu ajutorul coordonatelor de bază.

4.DEFINIREA POZIŢIEI PUNCTELOR,DIRECŢIILOR ŞI PLANELOR DIN REŢEAUA CRISTALINĂ PRIN SIMBOLURI.

4.1. Notaţia punctelor.

După cum pentru a caracteriza un poliedru cristalin a fost nevoie să notăm feţele de cristal prin indici, care definesc poziţia lor relativă, tot astfel,pentru definirea poziţiei elementelor componente ale structurii interne, în reţea, este necesar să notăm aceste puncte care reprezintă atomi sau ioni, în raport cu un sistem de axe de coordonate.

Pentru aceasta se aleg trei axe de coordonate, x, y şi z, pe care se construieşte paralelepipedul elementar. Acesta este definit prin direcţia şi lungimea muchilor, prin relaţia axială, care se compune, ca şi la poliedrele cristaline, din raportul dintre unghiuri şi din raportul dintre parametri. Axele considerate sînt deci tot axe cristalografice.

Reţeaua unui cristal constă din repetarea la infinit a paralelepipedelor elementare, ale celulelor elementare, care conţin toate punctele caracteristice ale motivului cristalin realizat prin translaţii simple.

Dacă se difineşte poziţia fiecărui punct caracteristic,adică se stabileşte aşezarea particulelor constitutive ale cristalului, atunci se cunoaşte "sistemul regulat de puncte" căruia aparţine.

Paralelepipedul elementar se construeşte pe părţile pozitive ale axelor şi coordonatele unui punct se înseamnă pentru cele 3 axe, respectiv, cu x, y şi z, iar simbolul punctului se scrie între paranteze drepte duble: [[xyz]] .

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Simbolul punctului din originea axelor, O (fig. 309), va fi deci $[[000]]$.

Punctul A din colţul paralelepipedului, situat pe axa x va avea simbolul $[[100]]$; punctul B din colţul situat pe axa y va avea simbolul $[[010]]$; punctul C situat pe axa z $[[001]]$; punctul A', $[[101]]$; Punctul B' $[[011]]$; punctul C' $[[111]]$ etc.

Toate aceste puncte fiind analoage cu punctul O, şi coordonatele lor sînt analoge cu $[[000]]$.

Simbolurile punctelor situate în interiorul sau în afara paralelepipedului elementar vor avea forme m+r, n+s, p+t în care (rst) este simbolul colţurilor (coordonatele de bază), iar m,n,p sînt fracţii raţionale şi mici.

Luînd pe axele y şi z o reţea plană care intersectează pe x în origine (fig.310), vom avea pentru punctul A simbolul $[[000]]$, pentru punctul B, $[[010]]$, pentru punctul C, $[[001]]$, iar mai departe, pentru punctul D, $[[0\ \frac{1}{4}\ \frac{3}{4}]]$, pentru E, $[[0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}]]$ pentru F, $[[0\ \frac{3}{4}\ \frac{1}{4}]]$ pentru G, $[[0\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4}]]$ etc.

In cazul blendei (ZnS), cu reţeaua cub centrat pe feţe (fig. 311) ionii de Z vor fi notaţi:

A, cu $[[\frac{3}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{3}{4}]]$, B cu $[[\frac{1}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{3}{4}]]$, C cu $[[\frac{1}{4}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{4}]]$ şi D cu $[[\frac{3}{4}\ \frac{3}{4}\ \frac{1}{4}]]$, iar ionul de sulf E, cu $[[\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0]]$ etc.

4.2. Notaţia direcţiilor

Direcţia unui şir reticular se defineşte ca şi axa de zonă pe care am notat-o la poliedrele cristaline prin indici puşi între paranteze drepte.

Ca şi muchiile poliedrelor cristaline, şirurile reticulare paralele sînt identice şi deci oricare şir reticular are corespunzător un şir identic, paralel, care trece prin originea axelor. Poziţia sa este definită deci prin coordonatele unui singur punct de pe şir ca şi în cazul axei de zonă.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

NOTAȚIA PUNCTELOR

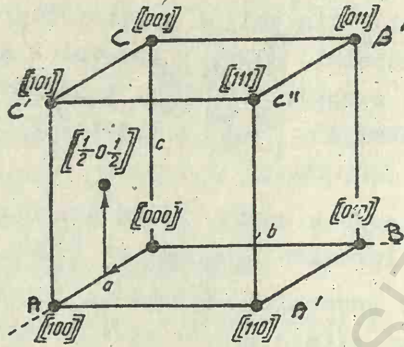


Fig. 309

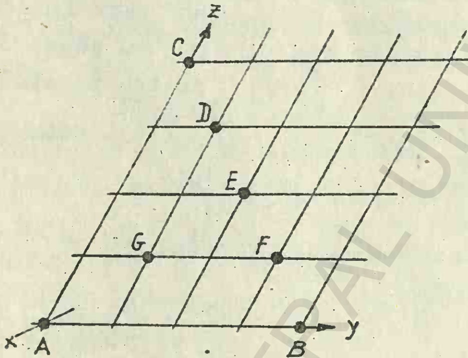


Fig. 310.

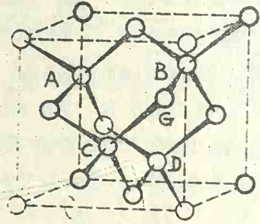


Fig. 311

NOTAȚIA DIRECȚIILOR

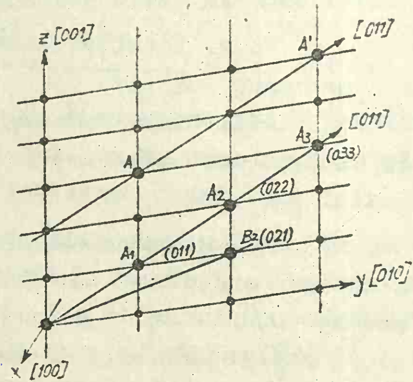


Fig. 312.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Astfel de ex.şirul A (fig. 312), în urma unei translaţi.., se suprapune cu şirul A_1, al cărui simbol este [[011]], după coordonatele punctului A_1. Şi, de altfel, coordonatele oricărui punct de pe această direcţie; A_2 [[022]], A_3[[033]]etc. se reduc la aceeaşi valoare; simbolul direcţiei AA' este[[011]]. Axele cristalografice însăşi vor avea simbolurile: [[100]]. pentru axa x, [[010]]pentru axa z.

Şi în acest caz indicii se notează în general prin [[uvw]] ca şi la axele de zonă.Orice valoare a lor, în cazul axelor cristalografice, poate fi redusă la unitate, ca în notaţiile arătate.

4.3. Notaţia planelor reticulare

Ca şi în cazul feţelor de cristal,poziţia palnelor reticulare se defineşte prin raportul dintre indici, iar simbolul se scrie (h k l) ca şi în cazul feţelor de cristal. Şi în acest caz,indici sînt inversul caracteristicilor parametrilor.

Toate planele reticulare paralele au acelaşi simbol, ele putînd fi deplasate paralel cu poziţia lor iniţială, fără a li se schimba orientarea în raport cu axele cristalografice.

Astfel, dacă considerăm planul reticular yoz (fig. 313) şi luăm o serie de plane reticulare perpendiculare pe acesta şi paralele între ele $P, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ . . . . vom avea după punctele lor de intersecţie cu axele,următoarele notaţii în parametri:

$$P = \infty a : 3\,b : 2\,c \text{ sau } \frac{1}{\infty} : \frac{1}{3} : \frac{1}{2} : = (023);$$

$$P_1 = \infty a : \frac{5}{2}\,b : \frac{5}{3}\,c = \frac{1}{\infty} : \frac{2}{5} : \frac{3}{5} = (023);$$

$$P_2 = \infty a : 2\,b : \frac{4}{3}\,c = \frac{1}{\infty} : \frac{1}{2} : \frac{3}{2} = (023);$$

$$P_3 = \infty a : \frac{3}{2}\,b : c = \frac{1}{\infty} : \frac{2}{3} : \frac{1}{1} = (023);$$

$$P_4 = \infty a : b : \frac{2}{3} c = \frac{1}{\infty} : \frac{1}{1} : \frac{3}{2} = (023) ;$$

$$P_5 = \infty a : \frac{1}{2} b : \frac{1}{3} c = \frac{1}{\infty} : \frac{2}{1} : \frac{3}{1} = (023);$$

adică aceeaşi notaţie.

Cei mai mari parametri pe care o serie de plane reticulare de simbol (hkl), respectiv (023) taie cele trei axe cristalografice sînt : $\frac{1}{h}$ a; $\frac{1}{k}$ b şi $\frac{1}{l}$ c, în cazul nostru $\frac{1}{0}$ a, $\frac{1}{2}$ b şi $\frac{1}{3}$ c.

Echidistanţa unei serii paralele de plane reticulare cu simbolul (hkl) este determinată prin aceşti indici şi se înseamnă cu d_{hkl}, în cazul de faţă, d_{023}.

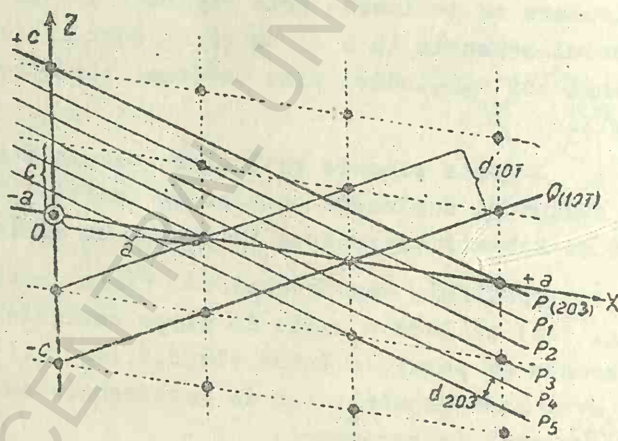


Fig.315.

2.

CRISTALOGRAFIA GEOMETRICA.

B. STRUCTURA INTERNA A CRISTALELOR

XII. DETERMINAREA RADIOMETRICA A STRUCTURII INTERNE A CRISTALELOR.

A. ROENTGENOMETRIA CRISTALELOR.

1. IPOTEZE

1.1. Natura razelor X.

Incă de la descoperirea lor de către Roentgen, în 1895, s-a pus ipoteza că, asemănător cu razele luminoase, razele X ar fi tot de natură oscilatorie.
Pentru radiaţiile luminoase însă, se cunoştea proprietatea de difracţie la trecerea lor prin fante înguste şi se cunoşteau procedee de determinare, cu ajutorul reţelelor de difracţie, a lungimilor de undă, care le caracterizează.

In ceea ce priveşte razele X, natura lor oscilatorie era argumentată doar de faptul că nu erau deviate din drumul lor de către un cîmp magnetic, aşa cum sînt deviate radiaţiile corpusculare, respectiv razele catodice, descoperite cu aproape 30 de ani înainte.

Se ştia că pentru difracţia razelor luminoase sînt necesare reţele cu deschideri de acelaşi ordin de mărime cu lungimea lor de undă, respectiv, reţele cu 50- 300 zgîrieturi pe un mm. şi s-a bănuit că difracţia razelor X nu s-ar fi produs, în condiţiile experimentate, din cauză că acestea

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ar avea lungimi de undă mai mici.

După această idee, o serie de cercetători (Wind, Walter, Pahl etc) au întrebuinţat o fantă în formă de V, deci cu deschiderea din ce în ce mai mică, obţinînd în cele din urmă, mai multe diagrame de difracţie a razelor X.

Din aceste diagrame, Sommerfeld (1912) a calculat pentru razele X lungimi de undă de ordinul X= 4.10^{-9} cm., adică aproximativ de 10.000 de ori mai mici decît cele ale razei galbene de sodiu din spectrul luminos ($5,89.10^{-5}$ cm.).

Natura oscilatorie a razelor X era, în parte, confirmată, dar rezultatele obţinute, lipsite de precizie, nu dădeau posibilitatea determinărilor exacte de lungimi de undă.

1.2. Structura reticulară a cristalelor

Incă de la 1690, fizicianul olandez Christian Huyghens, şi-a fundamentat teoria sa asupra legilor de propagare a luminii plecînd de la ipoteza unui aranjament regulat al particulelor care constituie cristalele de calcită şi alte cristale.

Pe baza aranjamentului regulat al elementelor geometrice care îmbracă de multe ori cristalele (Lomonsov, Fedorov etc.), sau pe baza formelor poliedrice regulate care rezultă prin clivajul unor cristale (Haüy etc.), s-a pus de asemenea ipoteza structurii interne regulate a materiei cristalizate.

In fine, prin aplicarea din ce în ce mai completă a operaţiilor de simetrie de către Bravais, Sohncke şi în sfîrşit de către Schoenflies şi Fedorov, s-a ajuns să se stabilească toate posibilităţile de grupare şi aranjare a particulelor componente ale cristalelor în cele 230 de grupe spaţiale.

In această concepţie şi a ideilor lui Haüy asupra formei celulei elementare, după cunoaşterea numărului lui

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Avogadro, s-au putut face ipoteze şi asupra dimensiunilor paralelepipezilor elementari care ar compune cristalele, precum şi asupra distanţelor dintre atomii moleculelor care ar constitui aceşti paralelepipezi.

Aşa s-a determinat latura d a cubului de clorură de sodiu din volumul moleculei sale prin următorul calcul simplu:

$V = d^3 = \frac{M}{D}$ cmc., în care V este volumul molecular al NaCl, M este masa unei molecule de NaCl, obţinută din împărţirea echivalentului gram (23+35, 46=58, 46) prin numărul lui Avogadro ($N=6{,}06.10^{23}$) şi D este densitatea cloruri de sodiu (D=2,168).

Inlocuind cu aceste cifre termenii formulei de mai sus, rezultă:

$$V = d^3 = \frac{58{,}46}{2{,}168 \times 6{,}06.10^{23}} \text{ cmc.} = 44{,}9 \text{ Å}^3,$$

de unde, $d = \sqrt[3]{44{,}9} = 3{,}546.10^{-8}$ cm., valoarea comparabilă cu cea obţinută de Sommerfeld pentru lungimea de undă a razelor X.

2.CONCEPTIA LUI LAUE

In acest studiu al cunoştinţelor despre razele X şi despre structura internă a cristalelor, fizicianul Max von Laue a avut suficiente elemente pe care să-şi bazeze ideea genială de a le uni într-o concepţie unitară ce avea să rezolve definitiv problema razelor X şi totodată să confirme pe deplin ipotezele cu privire la structura reticulară a cristalelor.

Dacă întradevăr particulele componente ale cristalelor sînt aşezate în reţele ale căror şiruri reticulare sînt situate la distanţe de cîţiva angströmi, iar razele X sînt de natură ondulatorie şi au lungimi de undă de acelaşi ordin, înseamnă că tocmai cristalele trebuie să constituie

reţelele de difracţie pentru razele X, atît de căutate,dar imposibil de realizat prin mijloacele tehnice obişnuite. La trecerea prin cristale trebuie să se producă difracţia şi interferenţa razelor X.

Acest lucru a fost realizat experimental de către asistenţii lui Laue,W.Friedrich şi P.Knipping în acelaşi an (1912).

2.1. Interferenţa razelor difractate

Laue pleacă de la ideea că în cristal se află mai multe serii de plane reticulare cu echidistanţe diferite şi diferit înclinate faţă de direcţia razelor X incidente.

In drumul lor prin cristal, o parte din raze trec nedeviate şi produc o pată centrală pe placa fotografică aşezată în partea opusă sursei de raze X.
Alte raze sînt difractate pe planele reticulare ale cristalului sub unghiuri diferite.
Aceste raze, rezultate prin difracţia pe diferite noduri ale planului reticular,interferează pozitiv ori de cîte ori diferenţa lor de drum este egală cu un număr întreg de lungimi de undă, satisfăcîndu-se anumite relaţii dintre parametrii reţelei, unghiurile de înclinare faţă de razele X şi lungimea lor de undă.

Intensitatea razelor rezultate creşte în urma acestor interferenţe şi astfel se produce impresionarea plăcii fotografice, se produc pe placă anumite pete secundare.

Luîndu-se un şir reticular XX (fig.314) cu parametrul a şi considerînd că pe el cade, sub un unghi α_o un fascicol primar de raze X, S_1,S_2,S_3 etc. cu lungimea de undă λ , aceste raze se vor difracta pe nodurile reţelei, după un unghi α_h,în direcţiile S_1', S_2', S_3' etc.
Coborînd din nodurile A şi B perpendicularele AC şi BD pe raza incidentă S_2 şi pe raza difractată S_1' vedem că diferenţa de drum a celor două raze, de la frontul de undă AC

pînă la frontul de undă BD, va fi egală cu AD-CB.

Interferenţa va fi pozitivă atunci cînd diferenţa de drum va fi egală cu un număr întreg de lungimi de undă:

$$\Delta = h\lambda = AD - CB.$$

Dar AD = AB cos α_h = a cos α_h iar CB = AB cos α_o = a cos α_o, aşa că interferenţa va fi pozitivă atunci cînd:

$$\Delta = AD - CB = a\cos\alpha_h - a\cos\alpha_o = a(\cos\alpha_h - \cos\alpha_o) = h\lambda.$$

La fel se deduc şi ecuaţiile pentru celelalte două direcţii $y\bar{y}$ şi $z\bar{z}$,

$$\Delta = b(\cos\beta_k - \cos\beta_o) = k\lambda \text{ şi}$$

$$\Delta = c(\cos\gamma_l - \cos\gamma_o) = l\lambda$$

Fiecare atom difractă radiaţiile X în toate direcţiile, aşa că pentru un maximum de interferenţă, radiaţiile defractate vor forma un con cu vîrful în atomul respectiv, cu axa în direcţia şirului reticular din care face parte atomul şi cu o deschidere al cărei unghi variază cu ordinul de difracţie λ, 2λ, 3λ etc.).

In fig. (315) se văd conurile rezultate în cazul incidenţei normale pe şirul de atomi şi proiecţia lor pe-o placă fotografică a cărei plan este perpendicular pe fasciculul de raze incidente.
Asemenea conuri se formează în toate cele trei direcţii pentru interferenţele care satisfac ecuaţiile respective.
Pentru a obţine însă interferenţe pozitive în cazul unui fascicul de raze X ce străbate reţeaua tridimensională este necesar ca direcţiile razelor difractate să fie situate simultan pe cîte trei suprafeţe conice, adică să fie satisfăcute toate cele trei ecuaţii ale lui Laue.

In fig. 316 este reprezentată interferenţa a două suprafeţe conice corespunzător reţelei plane, iar în fig. 317, interferenţa a trei asemenea suprafeţe, corespunzător

INTERFERENȚA RAZELOR DIFRACTARE

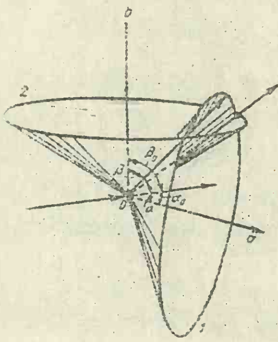
Fig. 314

Fig. 315.

Fig. 315 b.

Fig. 315c

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



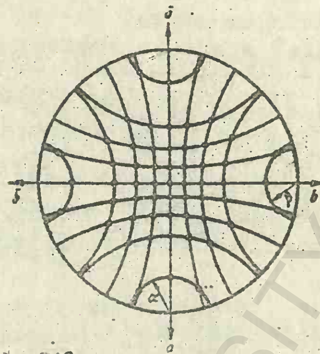
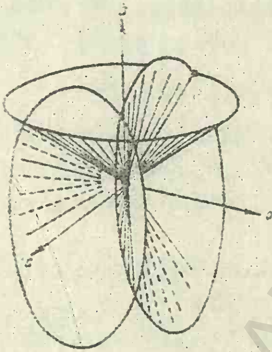


Fig. 316



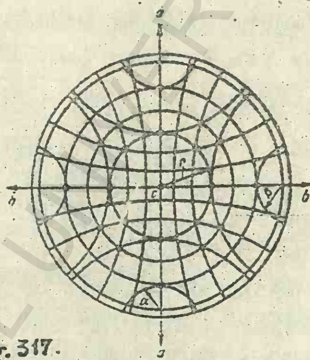


Fig. 317.

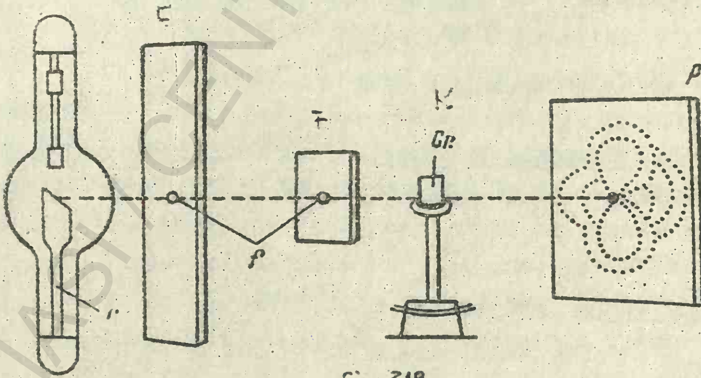


Fig. 318.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

rețelei tridimensionale, pentru cazul particular al incidențelor rectangulare.
Coincidența ca o direcție oarecare a fasciculului să fie comună la trei conuri de difracție este foarte puțin probabilă, așa că în cazul unei radiații monocromatice nu se poate produce interferența pozitivă decît în cazul unei anumite incidente $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$, determinată de parametrii celulei elementare.

Sînt două posibilități de a obține asemenea interferențe de difracție:

- Sau se trimite asupra cristalului un fascicul de raze X albe (cu spectru continuu) sub un anumit unghi de incidență (fix).

- Sau se trimite asupra cristalului un fascicul de raze X monocromatice (cu anumită lungime de undă) și se variază în mod continuu unghiul de incidență.

Laue a folosit primul procedeu.
Din numeroasele sisteme de conuri succesive de difracție care se produc pentru fiecare radiație din spectrul continuu, se găsește și o asemenea radiație, de o anumită lungime de undă, care să satisfacă ecuațiile lui Laue și deci a cărei conuri pe cele trei direcții să se intersecteze.

2.2. Metoda Laue

a. Dispozitivul Laue (fig. 318) este prevăzut cu un tub Roentgen (R) cu anticatodă de wolfram, de la care, printr-un sistem de ecrane de plumb cu fante de paralelizare E, F, trece un fascicul de raze X albe. In drumul lor, pe un suport reglabil, este așezat cristalul (K), astfel ca fasciculul să cadă, fie perpendicular pe o față cunoscută, fie în direcția unei axe de simetrie, a unei axe de zonă sau a unui plan de simetrie.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

In dosul cristalului se găseşte o placă fotografică (P).

b.- Razele X în spectru continuu (albe)

Supus la o tensiune, nu prea mare, care este variată între 20 şi 65 KV, catoda tubului emite un curent de electroni acceleraţi care lovesc anticatoda cu o mare energie, insuficientă totuşi, pentru pătrunderea lor în învelişul electronic al atomilor anodei[x]).

Prin frînarea electronilor această energie se transformă în cea mai mare parte în căldură, dar o parte se transformă în cuante de fotoni $h\nu$, emisiune de raze X, a căror lungime de undă este invers proporţională cu tensiunea curentului electric.

Acest lucru este exprimat prin relaţia $eV = h\nu = \frac{h.c}{\lambda}$, în care e este sarcina electronului, V = tensiunea în k V, h = constanta lui Planck, ν = frecvenţa radiaţiei X şi $\nu = \frac{c}{\lambda}$ în care c = constanta lui Einstein (3.10^{10}).

Prin variaţia tensiunii rezultă un spectru continuu de raze X cu lungimi de undă cu atît mai scurte cu cît tensiunea este mai mare (fig.319), aşa numitele raze X albe.

Intensitatea razelor X creşte odată cu creşterea tensiunii şi a numărului de ordine, al elementului din care este confecţionată anticatoda, după ecuaţia:

$I \simeq Z.V^2.i$, în care Z este numărul de ordine al elementului iar i, intensitatea curentului de electroni. Pentru wolfram, molibden şi crom, cu numere de ordine din ce în ce mai mici. $I_{W(74)} > I_{Mo(42)} > I_{Cr(24)}$ aşa cum se vede din fig.320.

c.- Roentgenograma Laue sau Lauegrama,

Care se obţine pe placa fotografică prin difracţia razelor X albe în cristalul orientat din drumul lor, constă dintr-o serie de pete negre aşezate simetric de-o

x Importanţa acestui fapt se va arăta la metoda Bragg.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

LAUEGRAME
I

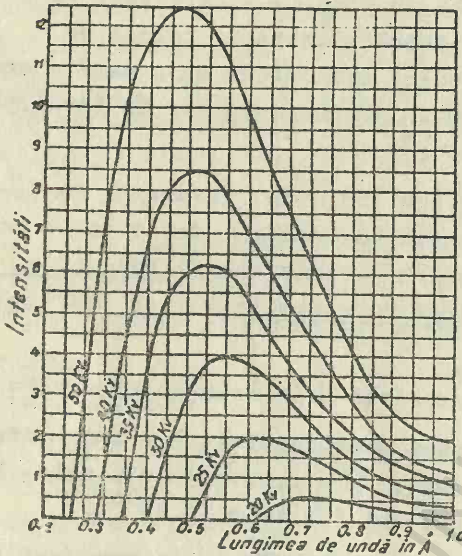


Fig. 319

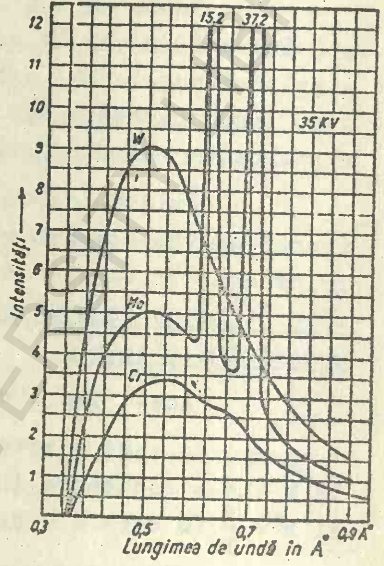


Fig. 320.

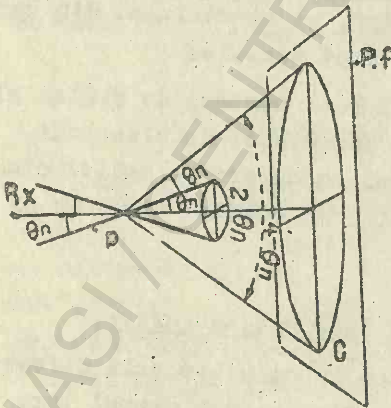


Fig. 321 a

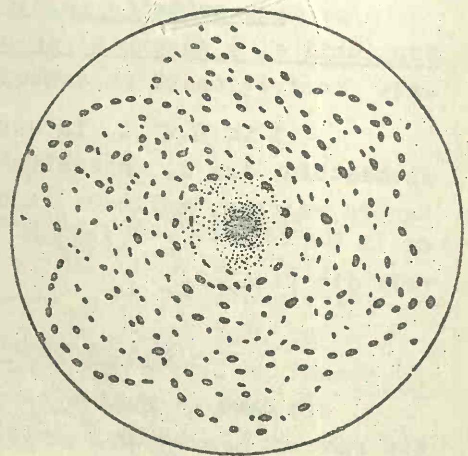


Fig. 321 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

parte şi de alta a unei pete centrale, produsă de razele primare, care au trecut nedeviate.
Petele secundare sînt situate faţă de pata centrală la un unghi de difracţie 2θ, de două ori mai mare decît unghiul de incidenţă al razelor care interferează (fig.321).
Aceste pete se pot transpune în proiecţia stereografică pe reţeaua Vulf.
In(fig.322 a, b) sînt diagramele lui Laue pentru blendă, iar în(fig. 323 a,b) este dată diagrama silvinei după axa L^4 şi proiecţia sa sterografică cu cercurile de zonă.

Diagramele Laue dau o privire foarte clară asupra simetriei cristalului şi posibilitatea de a nota uşor cu indici planele reflectante. Cu ajutorul lor se pot determina uşor unele elemente de simetrie dar nu dau posibilitatea să se deosebească clasele cu centru de simetrie de cele fără centru şi nici să se distingă polaritatea axelor, adică să se recunoască dacă o direcţie este parcursă într-un sens sau ... altul.
In felul acesta, cele 32 clase de simetrie se reduc la 11 grupe de clase. Astfel, în sistemul cubic se deosebesc numai două grupe: grupa T_h, care cuprinde clasele T şi T_h şi grupa O_h, care cuprinde clasele T_d, O şi O_h.
La fel, în sistemele din categoria mijlocie, sînt cîte două grupe de clase de simetrie, iar în sistemele din categoria inferioară, numai cîte o singură grupă.

Pentru obţinerea lauegramelor sînt necesare cristale bine formate care să fie aşezate în dispozitiv pe anumite direcţii sau trebuie să se folosească secţiuni cu orientare precisă.

Indicaţii importante pentru recunoaşterea structurii dă şi intensitatea petelor obţinute pe placa fotografică, dar în metoda Laue, măsurarea acestei intensităţi constituie o problemă dificilă.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

LAUEGRAME II

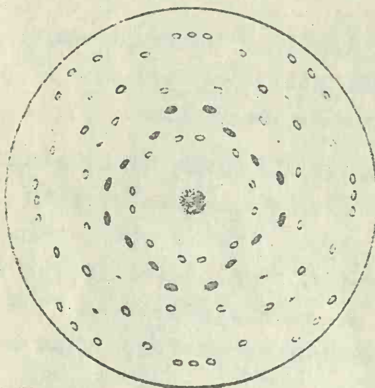


Fig. 322 a

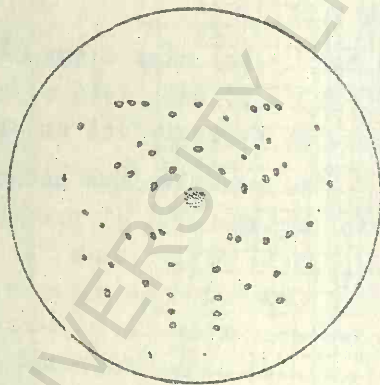


Fig. 322 b

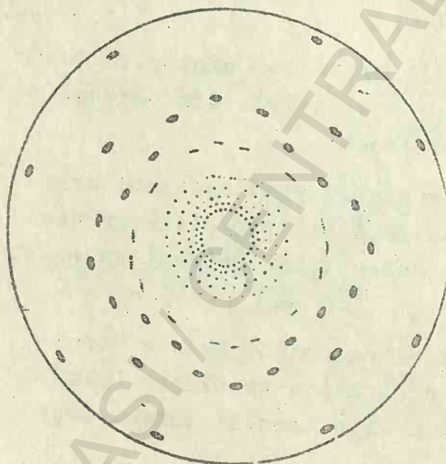


Fig. 323 a

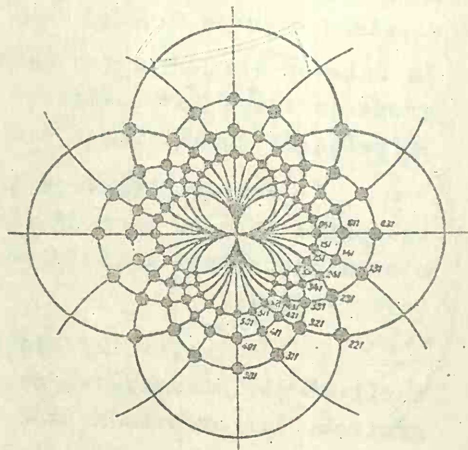


Fig. 323 b

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

3. CONCEPŢIA LUI BRAGG

In anul următor (1913) după publicarea lucrărilor lui Laue, fizicianul englez W.I.Bragg formulează o teorie după care se consideră că razele X ce pătrund în cristal se reflectă pe diferitele sisteme de plane reticulare, iar razele reflectate pe planele reticulare echivalente, interferează pozitiv în funcţie de diferenţa de drum.

Acest fenomen, într-adevăr asemănător cu reflexia diferitelor radiaţii pe feţele de cristal, este totuşi de natură internă şi se produce pe planele recticulare ale cristalului, indiferent de forma suprafeţei lui.

Interferenţa razelor astfel reflectate, are tot un caracter difractiv, dar explicaţia fenomenului este mult mai simplă decît în teoria lui Laue.

3.1. Relaţia Bragg-Vulf

Considerînd o serie de reţele atomice (1,2,3)ale cristalului, paralele şi echidistante, se ia un fascicul paralel de raze Roentgen monocromatice (p,q,) cu lungimea de undă λ , care cade oblic pe reţelele 1,2,3, după un unghi θ(fig.324).

Raza p cade pe reţeaua 1 în punctul C şi se reflectă pe aceasta în direcţia P_1; raza q cade pe reţeaua 2 în punctul A şi se reflectă în aceeaşi direcţie P_1; în aceeaşi direcţie se va reflecta şi raza r şi alte raze ale sistemului 1,2,3 .. în număr foarte mare.

Toate acestea vor interfera. Rezultatul interferenţei depinde de diferenţa de drum a razelor.

Interferenţa va fi pozitivă, razele se vor aplifica reciproc în cazul diferenţelor de drum egale cu un număr întreg de

lungimi de undă, adică atunci cînd $\Delta = n\lambda$, n fiind un număr întreg, 1,2,3 . .

Coborînd perpendiculara AB din A pe p şi perpendiculara CD din C pe reţeaua 2, se vede că întîrzierea $\Delta = AC - BC$.

Din triunghiul ABC rezultă că:

$BC = AC \cos 2\theta$ aşa că $\Delta = AC - AC \cos 2\theta = AC (1 - \cos 2\theta$ (1)

Inlocuind în această relaţie pe 1 după ecuaţia $\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$ şi pe $\cos 2\theta$ după relaţia $\cos^2\theta - \sin^2\theta = \cos 2\theta$ va rezulta:

$$\Delta = AC (1 - \cos 2\theta) = AC (\sin^2\theta + \cos^2\theta - \cos^2\theta + \sin^2\theta) = AC (2 \sin^2\theta) = 2 AC \sin^2\theta \quad (2).$$

Din triunghiul dreptunghic ADC, cu cateta CD=d, rezultă că $AC \sin\theta = CD$ sau : $AC = \frac{CD}{\sin\theta} = \frac{d}{\sin\theta}$ (3) încît $\Delta = 2 \frac{d}{\sin\theta} \cdot \sin^2\theta = 2d \sin\theta$ sau $\Delta = n\lambda = 2 d . \sin\theta$ (4).

Aceasta este ecuaţia lui Bragg, ce stă la baza tuturor metodelor de roentgenometrie a cristalelor, afară de metoda Laue.

Tot după această concepţie, pe alte căi, I.V.Vulf a ajuns la o formulă asemănătoare şi de aceea se mai numeşte şi relaţia Bragg-Vulf.

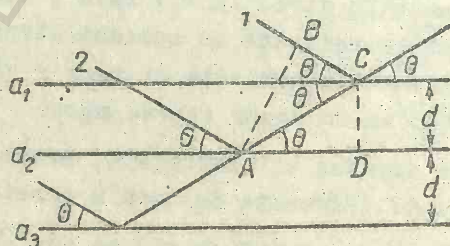


Fig. 324.

3.2. Legea reflexiei razelor Roentgen pe seria planelor echidistante

Pentru diferite ordine de reflexie, formula Bragg-Vulf devine: $\lambda = 2\,d\,\sin\theta_1$ - ordinul 1;

$2\lambda = 2\,d\,\sin\theta_2$ - ordinul 2;

$3\lambda = 2\,d\,\sin\theta_3$ - ordinul 3 etc.

Impărţind aceste ecuaţii ajungem la raportul :

$\sin\theta_1 : \sin\theta_2 : \sin\theta_3 \ldots = 1:2:3 \ldots$, care exprimă

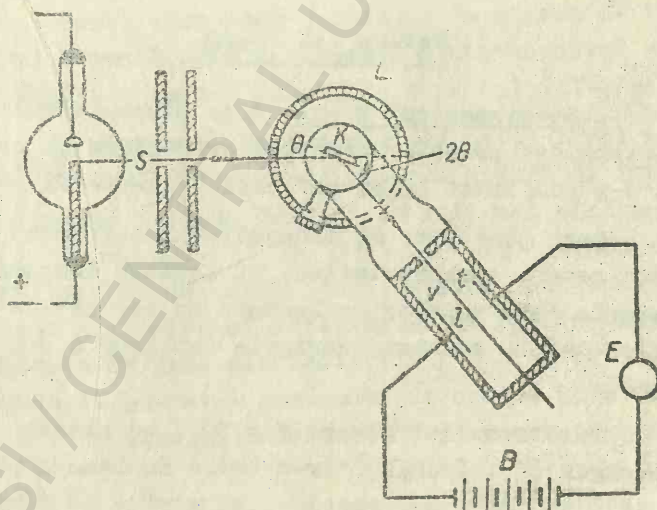


Fig.325.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

legea reflexiei razelor Roentgen pe seria planelor reticulare, lege care se formulează în felul următor:

Razele Roentgen cu o anumită lungime de undă se reflectă de un anumit plan reticular al cristalului sub unghiurile θ_1, θ_2, θ_3 etc. iar raportul sinsurilor acestor unghiuri este egal cu raportul unor numere întregi şi simple.

De ex., razele Roentgen cu λ = 0,5865 kX (1 kX=0,002 Å) pe feţele de cub (100) ale KCl, sub unghiurile : $\theta_1=5^{\circ}23'$; $\theta_2=10^{\circ}49'$; $\theta_3=16^{\circ}20'$, de unde, sin θ_1: sin θ_2; sin θ_3 = sin $5^{\circ}23'$: sin $10^{\circ}49'$: sin $16^{\circ}20'$= 0,094 : 0,282 = 1:2:3.

Formula Bragg-Vulf se foloseşte la calculul echidistanţei d cu raze X caracteristice a căror lungime de undă este cunoscută şi deasemenea la determinarea lungimii de undă cu substanţe cristalizate care au echidistanţa dintre planele reticulare, d, cunoscută.

3.3. Metoda lui Bragg

a. Spectrometrul Bragg este dispozitivul cu care s-au determinat primele structuri cristaline şi cu ajutorul căruia s-a confirmat legea reflexei razelor X.

Spre deosebire de dispozitivul lui Laue, aici se folosesc raze X caracteristice, cu anumită lungime de undă, iar interferenţa razelor reflectate se bazează pe cel de-al doilea principiu enunţat: variaţia continuă a unghiului de incidenţă.

Spectrometrul Bragg (fig.325) se compune dintr-un tub Roentgen (R), închis într-o cutie de lemn căptuşită cu tablă de plumb de 2 mm. grosime, un sistem de diafragme şi fante (D,F) cu care se aranjează lărgimea şi se paralelizează fasciculul de raze incidente, un goniometru cu un singur cerc (G) pe care se aşează cristalul (K) într-o anumită orientare şi o cameră de ionizare (I) alimentată de un acu-

mu..tor (A) şi prevăzută cu un aparat electric de măsură foart.. sensibil (E).

b. Razele X caracteristice sau monocromatice

Mărind tensiunea curentului electric care alimentează tubul de raze X peste o anumită limită (în cazul tubului cu anticatoda de wolfram, peste 69 kV), se produc, pe lîngă razele X albe şi nişte radiaţii aproape monocromatice, caracteristice pentru metalul din care este făcută anticatoda şi care sînt mult mai intense decît radiaţiile în spectru continuu.

Ridicînd tensiunea peste anumite limite, uneori la sute de mii de volţi, electronii emişi de catodă sînt aşa de puternic acceleraţi, capătă o energie atît de mare, încît pătrund în interiorul învelişului electronic al atomului anticatodei şi smulg electroni din învelişurile profunde ale acestora, aducîndu-i în stare de excitaţie.

Atomii trec însă repede de la starea de excitaţie la starea normală prin deplasarea dintr-un nivel superior a unui electron care-l înlocuieşte pe cel îndepărtat.

La trecerea elctronului de pe un nivel energetic superior pe unul inferior se emite o cuantă de fotoni,raze X cu o anumită lungime de undă,cu atît mai mică cu cît tensiunea este mai mare şi cu cît numărul de ordine al atomului anticatodei este mai mare, după ecuaţia menţionată în cazul razelor X albe şi după legea lui Moseley care arată că lungimule de undă ale radiaţiilor X sînt invers proporţionale cu patratul numărului de ordine al atomului micşorat cu o anumită constantă, după ecuaţia:

$\nu^2 = (\frac{1}{\lambda})^2 = A^2 \cdot (Z-B)^2$ unde ν este frecvenţa, Z numărul de ordine, A şi B constante.

Razele X caracteristice se înseamnă cu litera nivelului energetic de pe care a fost smuls electronul şi

cu un indice care arată de ce electron din stratul superior a fost înlocuit.
Astfel, în cazul anticatodei de wolfram, la smulgerea electronului din stratul K se vor produce radiaţii K.Dacă acesta este înlocuit cu un electron din stratul L III, razele se vor nota cu $K_{\alpha 1}$, iar din L III, cu $K_{\alpha 2}$.

Dacă electronul înlocuitor coboară de pe nivelul M II sau M III se va nota cu $K_{\alpha 1}$, iar de pe nivelul N II sau N III, cu $K_{\alpha 2}$.

Şi în cazul razelor caracteristice intensitatea este direct proporţională cu numărul de ordine al atomului şi cu patratul tensiunii, aşa că la tensiunile mari la care se lucrează, intensitatea lor va fi foarte mare.

c.Modul de lucru.

Odată cristalul aşezat şi bateria de acumulatori conectată la camera de ionizare, se pune în funcţie tubul de raze X şi dispozitivul de rotire a cristalului şi camerei.

Razele X monocromatice, reflectate pe planele reticulare ale cristalului trec printr-o foiţă de aluminiu în camera de ionizare.

După cum s-a mai arătat, în cazul general adică la o înclinare oarecare, razele monocromatice reflectate de cristal nu interferează. Circuitul camerei de ionizare rămîne deschis, gazul din interiorul camerei de ionizare fiind rău conducător de electricitate.

In anumite poziţii de rotire a cristalului însă, cînd unghiul de reflexie a razelor X dă posibilitatea satisfacerii relaţiei Bragg-Vulf, razele interferează pozitiv şi amplificate, trec prin foiţa de aluminiu în camera de ionizare, unde ionizează gazul făcîndu-l bun conducător şi închizînd circuitul.

Intensitatea curentului de ionizare şi deci a fluxului

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

de raze X pentru reflexiile de diferite ordine sînt indicate de microampermetrul E.

d. Diagramele Bragg.

Măsurătorile gonimetrice şi electrice se trec în diagrame binare cu valorile unghiului θ pe abscisă şi cu intensitatea razelor reflectate pe ordonată.
Prin unirea acestor puncte se trasează curba de variaţie a intensităţii reflexiilor pe faţa respectivă (fig.326).

In mod normal, cînd planele reticulare după faţa respectivă au aceeaşi putere de reflexie, reflexiile de diferite ordine au valori descrescînde odată cu creşterea ordinului.
In cazul cînd planele cu faţa respectivă au compoziţie diferită şi putere diferită de reflexie, se produc abateri de la această regulă.
Astfel, în cazul NaCl, după faţa (100) toate planele sînt identice, formate din şiruri în care ionii de Na şi cei de Cl alternează, puterea lor de reflexie este aceeaşi şi nu variază decît în raport invers cu ordinul de reflexie.

In schimb, după faţa (111) cînd planele reticulare sînt formate alternativ numai de ioni de Na şi numai de ioni de Cl, care dau reflexii de intensităţi foarte diferite, proporţionale cu numărul lor de ordine foarte diferit ($I_{Cl}17 > I_{Na}11$) pe diagramă se produc alternanţe de maxime şi minime.

Nu totdeauna radiaţiile caracteristice sînt riguros monocromatice; destul de frecvent sînt compuse din cîteva raze apropiate, dar diferite ca lungime de undă.
In acest caz, diagramele prezintă grupe de maxime, corespunzătoare fiecărei raze, pentru fiecare ordin de reflexie.
Astfel în cazul anticatodei de Pt, care dă trei raze caracteristice din seria L şi anume L_α, L_β şi L_γ, diagrama va prezenta grupe de cîte trei maxime pentru fiecare ordin de reflexie (fig.327).

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Metoda Bragg permite să se determine exact indicii planelor de reflexie şi, prin măsurarea exactă a intensităţii feţelor de interferenţă dă posibilitatea să se obţină informaţii importante asupra celulei elementare.

Şi în această metodă însă, pentru cercetare, este nevoie de cristale mai mari, cu feţe sau plane de clivaj clare sau care să poată fi ştefuite după anumite plane cu orientare determinată.

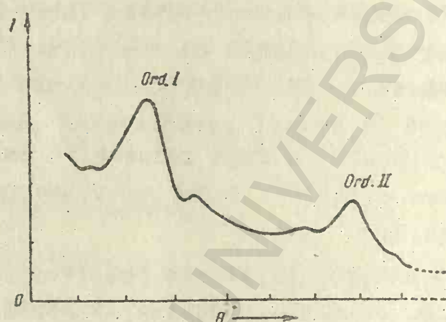


Fig. 326.

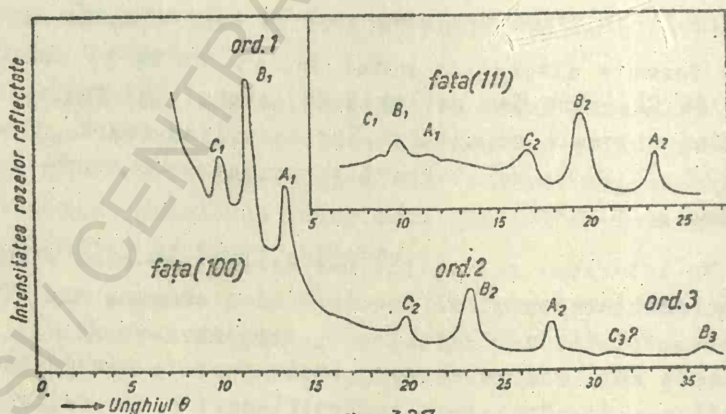


Fig. 327.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

4. METODA PULBERILOR

Dificultăţile pe care le prezintă metodele arătate au fost înlăturate de către Debye şi Scherrer în Germania (1916) şi Hull în U.S.A. (1917) printr-o metodă de cercetare, bazată tot pe concepţia lui Bragg, dar în care, în loc de monocristale mari şi orientate, se folosesc agragate sau pulberi fine de cristal.

4.1. Dispozitivul şi procedeul de lucru

Prepararea probei. Se fărămiţează cu atenţie proba într-un majar de agat pînă la o granulaţie de cca, 10^{-3}mm., avînd în vedere că granulele cu dimensiuni prea mari provoacă o discontinuitate în liniile diagramei iar cele prea fine produc linii difuze.

Pulberea astfel obţinută se aplică pe un filament de sticlă, acoperit cu o substanţă de lipit (colodiu etc.) sau se presează într-un tub capilar confecţionat dintr-un material care să permită trecerea razelor X fără a produce însă interferenţe (mase plastice etc).

Obiectul cilindric astfel format trebuie să aibă un diametru de 0,5 - 1 mm., ţinînd seama de faptul că la o grosime prea mică prepararea este dificilă, iar expunerea la raze X trebuie să dureze prea mult.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

b. Principiul metodei. Obiectul preparat prezintă o infinitate de granule cristaline,aşezate într-o dezordine totală, avînd deci toate poziţiile posibile în spaţiu.

Trimiţînd asupra obiectului un fascicul de raze X monocromatice, acesta va întîlni o serie de granule în care, o anumită familie de plane reticulare (hkl), cu echidistanţa d_1, va face cu fasciculul un unghi θ_1, care să satisfacă relaţia Bragg-Vulf pentru interferenţa pozitivă de ordinul 1 (fig.328).

In altă serie de granule,aceleaşi plane reticulare vor face cu fasciculul un unghi θ_2 care îndeplineşte aceleaşi condiţii; se va produce interferenţa de ordinul 2 ş.a.m.d.

Unghiurile de difracţie vor avea faţă de direcţia razei incidente o valoare 2 θ.

c. Dispozitivul şi funcţionarea lui (fig.329).

Preparatul în formă de baghetă se aşează în mijlocul unei camere cilindrice (fig.330), pe pereţii căreia este desfăşurată o peliculă fotografică perforată la mijloc şi la capetele care au să se unească în jurul orificiului cu care este prevăzută camera, pentru pătrunderea fasciculului de raze X (fig.331).

Se confecţionează camere a căror circumferinţă, în mm. să împartă simplu cele 360°; de ex. camera cu circumferinţa de 180 mm. (R=28,65 mm) la care 1 mm. corespunde cu 2°.
Ferestruica prin care pătrund razele X în cameră este închisă de o foiţă de aluminiu.
Proba perfect centrată este aşezată pe un suport axial care, în timpul expunerii, se roteşte cu tot cu probă.

Tubul Roentgen, prevăzut cu anticatodă convenabilă, trimite un fascicul de raze X caracteristice care, trecînd printr-un sistem de fante şi filtre, pătrunde prin foiţa de

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

aluminu în camera de difracţie căzînd perpendicular pe obiectul cilindric al probei.

d.<u>Diagramele Debye-Scherrer</u>. Din infinitatea de granule cristaline cu toate orientările posibile, de pe preparat, fasciculul de raze va întîlni o serie de cristale în care anumită familie, de plane reticulare (hkl) cu echidistanţă d să facă cu razele incidente un unghi θ care să satisfacă relaţia Bragg-Vulf pentru interferenţă.

Planele reticulare din aceeaşi familie şi cu aceeaşi înclinare faţă de raza incidentă sînt dispuse în jurul acesteia după suprafaţa unui con cu deschiderea 2 θ. Reflexia razelor pe toate aceste plane, se face la rîndul său, după unghiul θ faţă de plan şi 2 θ faţă de raza incidentă, încît conul razelor reflectate pe acelaşi sistem de plane reticulare are o deschidere de 4 θ (fig.332). Cu baza sa, conul de raze difractate, intersectează pelicula fotografică după un cerc concentric în jurul punctului de incidenţă.

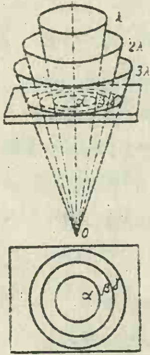
Pentru fiecare familie de plane reticulare rezultă asemenea conuri de reflexie care intersectează pelicula, sub formă de cercuri, atît timp cît diametrul acestora nu depăşeşte lăţimea filmului, şi sub forma de arce de cerc simetrice, de-o parte şi de alta a punctului de incidenţă, după ce-o depăşeşte (fig. 333).

Pentru unghiul 2 θ = 90°, intersecţia se aseamănă cu un con cu raza infinit de mare şi capătă forma a două linii drepte, simetrice de-o parte şi de alta.
Pentru unghiuri mai mari de 90°, apar din nou arce de cerc, dar întoarse divergent faţă de mijlocul peliculei.

Densitatea planelor reticulare, numărul de ordine al elementelor din nodurile reţelei şi poziţia planelor în reţea, dau reflexelor intensităţi diferite.
Numărul, poziţia şi intensitatea liniilor dau caractere proprii diagramei fiecărei substanţe, uneori în aşa măsură,

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

METODA PULBERILOR *Debye-grame.*



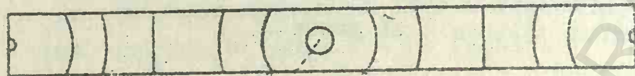


Fig. 331.

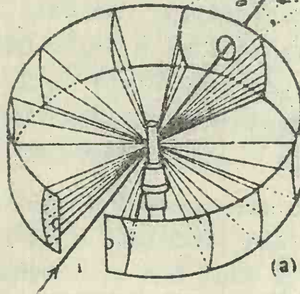


Fig. 328

Fig. 330

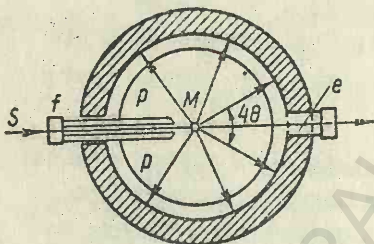


Fig. 229

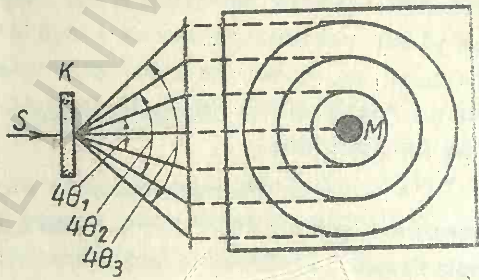


Fig. 332

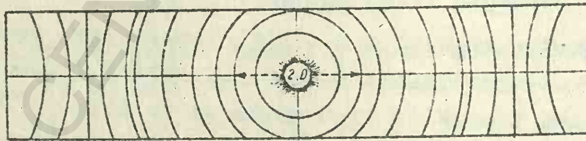


Fig. 333a

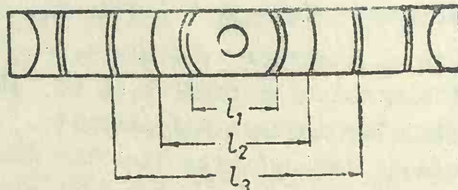


Fig. 333 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

...ît substanţa poate fi recunoscută prin comparaţia diagramei cu o serie de diagrame de colecţie.

Determinarea precisă se face însă prin măsurarea distanţei dintre curbele simetrice, determinarea echidistanţei $\frac{d}{n}$ între diferitele plane reticulare şi calcularea altor elemente cristalografice, precum şi prin măsurarea intensităţii reflexiilor pe fiecare sistem de plane. In felul acesta, rezultatele nu depind de condiţiile experimentale diferite în care s-au făcut diagramele.

Valoarea unghiului θ se calculează din distanţa 2 L la care sînt situate liniile simetrice din diagramă, cunoscînd că pentru 2 L corespunde unghiul 4 θ , de unde rezultă că $\frac{2\ L}{4\ \theta} = \frac{2\ \pi\ R}{360}$ sau $2\ \theta = 2L\ \frac{180}{2\pi R}$.

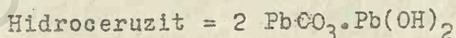
In cazul camerei cu R = 28,65, cînd $2\pi R$ = 180 mm. distanţa 2 L măsurată în mm. exprimă în grade valoarea lui 2 θ.

Introducînd în formula Bragg-Vulf valoarea lui θ şi lungimea de undă a razelor folosite, se poate calcula valoarea d pentru sistemul cubic şi pentru sistemele din categoria mijlocie de singonii şi valoarea $\frac{d}{n}$ pentru sistemele din categoria inferioară de singonii.

In practică se aplică măsurătorilor 2 L diferite corecţii, cum ar fi de ex.corecţia pentru grosimea preparatului cu cristale.

Intensitatea I a liniilor de interferenţă apreciată vizual se notează de la 1 la 10 sau se determină exact cu fotometrul.

Valorile $\frac{d}{n}$ şi I ale liniilor de interferenţă se înscriu în tabele, cum este de ex. tabela pentru hidroceruzit din determinatorul lui V.I.Miheev.



Hidroceruzit = 2 $PbCO_3.Pb(OH)_2$

Singonia trigonală c:a = 1,419

Nr.	I	$\frac{d}{n}$	Nr.	I	$\frac{d}{n}$
1	3	4,45	6	5	2,23
2	4	4,24	7	5	2,11
3	9	3,61	8	4	2,03
4	10	3,28	9	6	1,86
5	10	2,62	10	5	1,69

Complexul de linii al debye-gramei este caracteristic pentru fiecare substanţă.
Pentru identificarea substanţei cercetate se compară datele din tabelele întocmite,cu tabelele din determinatoarele, care s-au întocmit pentru foarte multe substanţe, cum este cel al lui Miheev pentru minerale.

Metoda fiind foarte larg aplicată, a suferit perfecţionări importante, care dau în prezent posibilitatea unor determinări foarte precise şi rapide, pentru o gamă mult mai largă de substanţe cu structuri foarte fine şi complicate.

4.2. Camera de focalizare

reărezintă o astfel de prefecţionare a dispozitivului.

Sînt asemenea substanţe,ca mineralele argiloase, care avînd distanţe mari între planele reticulare (între 7 şi 40 Å) dau reflexe foarte apropiate la unghiuri mici şi cu linii de multe ori difuze.

In aceste camere se trimite un fascicul divergent de raze monocromatice pe pulberea de cristal,iar razele reflectate pe plane reticulare din diferite poziţii se concentrează într-un punct al unui plan focal circular ce coincide cu pelicula fotografică.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Inainte de a intra în camera de difracţie,razele X caracteristice, compuse din cîteva radiaţii apropiate, trec printr-un aşa numit monocromator, unde sînt reflectate pe o placă de cuarţ, curbată ce le dirijează convergent în cameră. Aici, după ce sînt difractate sau reflectate, sînt focalizate pe filmul fotografic.

In felul acesta se obţin şi pentru asemenea substanţe spectrograme clare, cu linii nete şi cu intensitate pronunţată.

4.3. Difractometrul

Acesta reprezintă în prezent ultima perfecţiune în aparatura de studiu cu metoda pulberilor.

Principiul difractometrului este asemănător cu principiul spectrometrului Bragg, dar aici, cu ajutorul unui dispozitiv electronic, interferenţele se înregistrează direct, pe hîrtie milimetrică, într-o diagramă care arată intensitatea liniilor corespunzătoare unghiurilor de difracţie θ (fig.334).
Difratometrul prezintă avantajul că într-un timp mult mai scurt se obţin măsurători precise ale unghiurilor de difracţie şi ale intensităţii liniilor de interferenţă chiar pentru structuri cu echidistanţe mari, ca cele ale mineralelor argiloase.

5. METODA CRISTALULUI ROTIT

Considerată ca o variantă a metodei lui Bragg în care camera de ionizare a spectrometrului este înlocuită cu o cameră Debye-Scherrer metoda prezintă şi o evidentă analogie cu metoda pulberilor.

Aici însă, în locul baghetei cu pulbere de cristale se aşează pe suportul axial al camerei un monocristal bine format şi suficient de mare pentru a putea fi centrat vertical, cu o axă de zonă în axa camerei cilindrice de difracţie.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

DIFRACTOMETRUL
DIAGRAMĂ

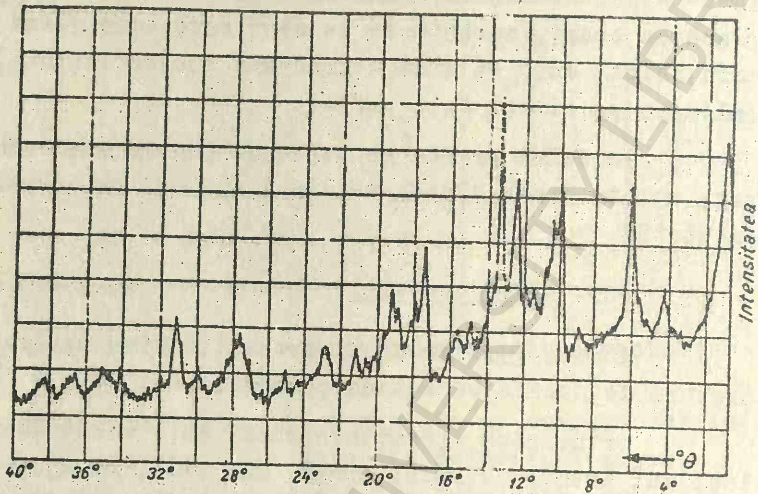


Fig. 334a

PELICULA

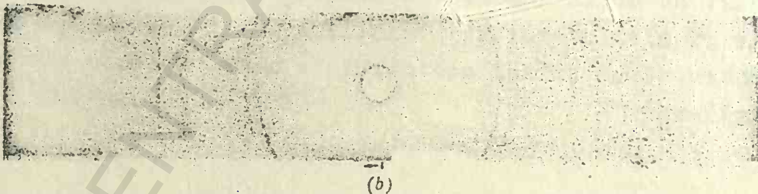


Fig. 334 b.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

METODA CRISTALULUI ROTITOR DIAGRAMA CUARȚULUI

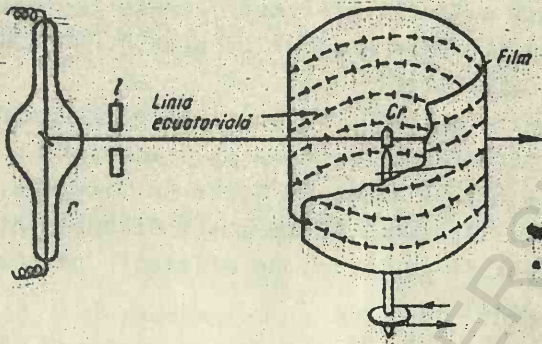


Fig. 335

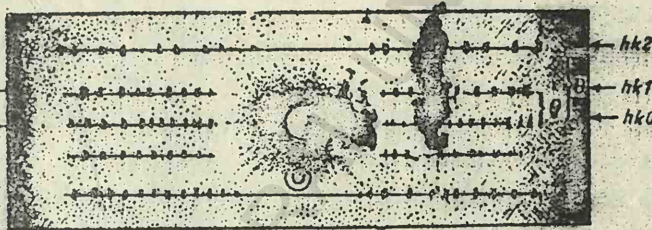


Fig. 336

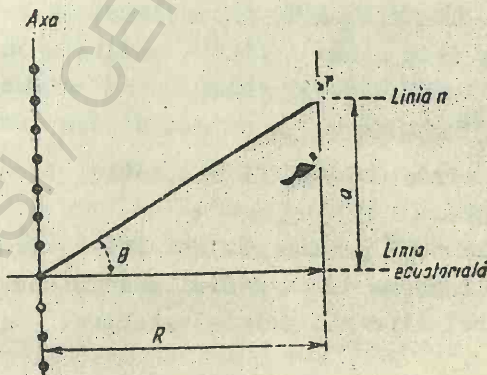


Fig. 337

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Ca şi la metoda pulberilor, suportul axial împreună cu cristalul se rotesc, iar fascicolul de raze cade pe cristal perpendicular pe axa de rotire (fig.335).

Difractate pe planele reticulare al cristalului şi amplificate prin interferenţă, razele impresionează pelicula fotografică după cercuri şi arce de cerc dispuse ca şi la metoda pulberilor.
Aici însă dungile nu mai sînt continui ca în cazul pulberilor, unde difracţia se produce pe o infinitate de plane reticulare ale cristalelor, cu toate înclinările posibile, ci sînt formate din linii întrerupte, fiecare pată reprezintînd intersecţia conurilor de difracţie pe şirurile reticulare ale cristalului.

In cazul cristalului aşezat vertical, după axa cristalografică $\bar{z}$, reflexia pe planele (hk0), paralele cu aceasta, va da o seria de pete dispuse după linia ecuatorială a filmului (fig. 336).
Planele reticulare (hkl) înclinate faţă de axa $z\bar{z}$,cu indici (hk_1), (hk_2), (hk_3) etc. vor da pete dispuse după linii paralele, de-o parte şi de alta a liniei ecuatoriale, la distanţe corespunzătoare ordinului de difracţie (1,2,3, etc.). In felul acesta, diagrama este formată din pete care, pe de-o parte sînt dispuse pe linii orizontale paralele, iar pe de altă parte sînt aliniate după arcele de cerc transversale.

Echidistanţa d, în direcţia axei de rotire, se calculează uşor din diagramă, introducînd în relaţia Bragg-Vulf pe n, care este numărul liniei paralele cu linia ecuatorială, adică 1,2,3 etc. şi valoarea lui θ ,scoasă din ecuaţia $tg\ \theta = \frac{p_n}{R}$,în care p_n este distanţa dintre linia ecuatorială şi linia ordinului respectiv, iar R este raza camerei (fig.337).
Pentru a calcula toţi parametrii celulei elementare trebuiesc făcute diagrame cu cristalul aranjat pentru rotirea în jurul fiecărei direcţii cristalografice.

La un cristal din sistemul rombic trebuie făcute trei roentgenograme:

- una cu axa z $\bar{z}$ ca axă de rotire pentru determinarea parametrului c,

- una cu axa y $\bar{y}$ ca axă de rotire pentru determinarea parametrului b şi

- una cu axa de rotire x $\bar{x}$ pentru determinarea parametrului a.

6.ANALIZA RADIOMETRICA A SUBSTANTELOR CRISTALINE

Pentru cunoaşterea structurii interne a unui cristal este necesar să se determine următoarele date:

- Simetria generală a cristalului ;

- Constantele cristalografice care dau relaţia axială a paralelepipedului elementar şi anume: parametrii celor 3 direcţiuni (a,b,c) şi unghiurile dintre muchiile paralelepipedului (α,β,γ);

- Volumul molecular ;

- Numărul de atomi sau de molecule cuprinse în paralelepipedul elementar;

- Grupa spaţială, şi anume : tipul Bravais de reţea şi elementele de simetrie ale motivului cristalin;

- Poziţia atomilor în paralelepipedul elementar.

Nu vom prezenta în detaliu mersul analizei în general, dar vom exemplifica această succesiune de determinări pentru sistemul cubic şi anume cu clorură de sodiu.

Inainte de a trece la analiza roentgenometrică a NaCl vom determina raporturile dintre elementele relaţiei Bragg-Vulf pentru cele 3 reţele Bravais ale sistemului cubic.

Din relaţia $n\lambda = 2\,d\,\sin\theta$ se scoate valoarea lui $d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta}$ şi apoi $\frac{1}{d} = \frac{2}{n\lambda}\sin\theta$.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Pentru ordinul 1 de reflexie în cazul fețelor de cub, dodecaedru romboidal și octaedru cu echidistanțele d_{110} și d_{111} vor corespunde unghiuri diferite, θ_1, θ_1', θ_1'' între care sînt următoarele raporturi:

$$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = \frac{2}{n\lambda} \sin \theta_1 : \frac{2}{n\lambda} \sin \theta_1' : \frac{2}{n\lambda} \sin \theta_1''$$

sau eliminînd constanta $\frac{2}{n\lambda}$, comună, vom avea:

$$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = \sin \theta_1 : \sin \theta_1' : \sin \theta_1''.$$

Aceasta este relația cu ajutorul căreia se identifică tipul de rețea Bravais, întrucît raporturile sînt diferite la cele trei celule elementare.
Unghiurile reflexiilor de ordinul 1 pentru cele 3 fețe se determină cu spectrometrul Bragg.

<u>Echidistanțele celor trei sisteme de plane reticulare</u> se calculează în felul următor:

a. <u>La cubul simplu (fig.338)</u>

Distanța dintre planele reticulare (100) este egală cu muchia cubului, parametrul a, și luînd parametrul a ca unitate, $d_{100} = 1$.

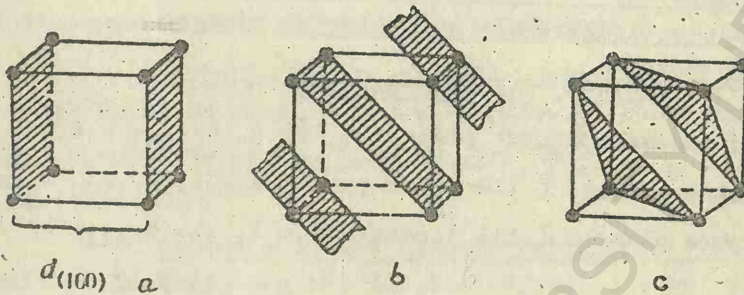
- distanța dintre planele reticulare (110) este egală cu jumătate din diagonala feței de cub: $\frac{1}{2} a \sqrt{2} = \frac{a}{\sqrt{2}}$ și pentru a = 1, $d_{110} = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

- Distanța dintre planele reticulare (111) este egală cu $\frac{1}{3}$ din diagonala spațială a cubului, deci $\frac{1}{3} a \sqrt{3} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ și pentru a = 1, $d_{111} = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

Raportul $\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ECHIDISTANȚA PLANELOR RETICULARE



Cub simplu
Fig. 338

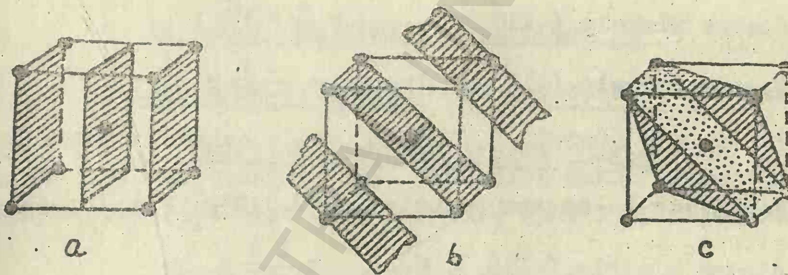
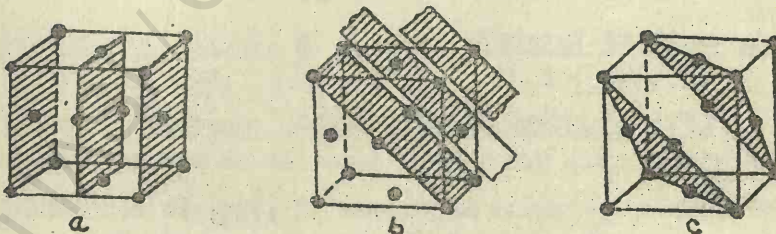


Fig. 339.
Cub centrat intern



Cub centrat pe fețe
Fig. 340

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

EXPLICATIA FIGURILOR 338, 339, 340.

Echidistanţele d dintre cele 3 sisteme de plane reticulare ale celulelor elementare.

Fig.338, Celula primitivă :

a. Echidistanţa dintre planele (100), $d_{(100)} = a = 1$;

b. dintre planele (110), tot pentru a = 1, $d_{(110)} = \frac{1}{\sqrt{2}}$;

c. dintre planele (111), pentru a = 1, ... $d_{(111)} = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

de unde, $\frac{1}{d_{(100)}} : \frac{1}{d_{(110)}} : \frac{1}{d_{(111)}} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}}$

Fig.339, Celula centrată intern:

a. Echidistanţa dintre planele (100), cu $\frac{a}{2} = 1, d_{(100)} = 1$;

b. dintre planele (110), $d_{(110)} = \frac{a}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$;

c. dintre planele (111), $d_{(111)} = \frac{1}{2}\frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

Fig.340, Celula centrată pe feţe:

a. Echidistanţa dintre planele (100), cu $\frac{a}{2} = 1, d_{(100)} = 1$;

b. dintre planele (110), $d_{(110)} = \frac{1}{2}\frac{a}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$

c. dintre planele (111), $d_{(111)}$, pentru $\frac{a}{2} = 1$, $= \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{2}{\sqrt{3}}$.

de unde, $\frac{1}{d_{(100)}} : \frac{1}{d_{(110)}} : \frac{1}{d_{(111)}} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{2}{\sqrt{3}}$, iar pentru celula centrată intern:

$$\frac{1}{d_{(100)}} : \frac{1}{d_{(110)}} : \frac{1}{d_{(111)}} = 1 : \sqrt{2} : \frac{1}{\sqrt{3}} .$$

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

b. La cubul centrat intern (fig.339)

- Distanța dintre planele reticulare (100) este egală cu jumătate din muchia cubului elementar, $\frac{a}{2}$. Această distanță va fi luată ca unitate şi deci $d_{100} = \frac{a}{2} = 1$.

- distanța dintre planele reticulare (110) este aceeaşi ca şi în cazul cubului simplu, $\frac{a}{\sqrt{2}}$ dar aici fiind luată ca unitate pentru echidistanță $\frac{a}{2}$, $d_{110} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$

- distanța dintre planele reticulare (111) este egală cu jumătate din cea stabilită pentru cubul simplu, deci $\frac{1}{2} \cdot \frac{a}{\sqrt{3}}$ dar fiind luat $\frac{a}{2}$ ca unitate, $d_{111} = \frac{1}{\sqrt{3}}$.

Raportul $\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \sqrt{3}$

c. La cubul centrat pe fețe (fig. 340)

-Distanța dintre planele reticulare (100) este $\frac{a}{2}$ deoarece asemenea plane paralele cu fețele de cub trec şi prin mijlocul cubului, deşi paralelogramele elementare ale celor două fețe sînt decalate cu $\frac{a}{2}$ unul față de celălalt.

Luînd ca unitate $\frac{a}{2}$, vom avea $d_{100} = 1$.

- distanța dintre planele reticulare (110) este deasemenea de două ori mai mică decît în cazul cubului simplu, deci $d_{110} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{\sqrt{2}}$

şi luînd ca unitate $\frac{a}{2}$, $d_{110} = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

Distanța dintre planele reticulare (111) este aceeaşi cu cea de la cubul simplu dar aici, unitatea fiind $\frac{a}{2}$ înseamnă că este, în raport cu aceasta, de două ori mai mare, $2\frac{a}{\sqrt{3}}$ în care pentru a = 1, $d_{111} = \frac{2}{\sqrt{3}}$

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Raportul $\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = 1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2}$

In felul acesta am obţinut relaţiile de identificare pentru cele trei tipuri de reţea Bravais ale sistemului cubic:

- Pentru forma primitivă, cub simplu

$$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = \text{Sin } \theta : \text{Sin } \theta' : \text{Sin } \theta'' = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}.$$

- Pentru cubul centrat intern.

$$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = \text{Sin } \theta : \text{Sin } \theta' : \text{Sin } \theta'' = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}}$$

- Pentru cubul centrat pe feţe,

$$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = \text{Sin } \theta : \text{Sin } \theta' : \text{Sin } \theta'' = 1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2}$$

6.3. Structura clorurii de sodiu

a. Simetria cubică a NaCl este stabilită în prealabil pe baza clivajului (cubic) şi a izotropiei optice a cristalelor.

b. Reţeaua Bravais. Cu ajutorul spectrometrului, Bragg a determinat unghiurile reflexiilor de ordinul 1 pentru feţele de cub, dodecaedru romboidal şi octaedru, obţinînd:

$\theta_{(100)} = 5{,}9^{\circ}$; $\theta'_{(110)} = 8{,}25^{\circ}$ şi $\theta''_{(111)} = 5{,}1^{\circ}$, aşa că:

$$\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} = \text{Sin } 5{,}9^{\circ} : \text{Sin } 8{,}25^{\circ} : \text{Sin } 5{,}1^{\circ} =$$

0,105 : 0,148: 0,091 sau împărţind cu 0,105 raportul devine 1: 1,41 : 0,867 = $1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2}$.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Rețeaua NaCl este un cub centrat pe fețe.

c. Relația axială. Odată stabilită singonia cubică, se cunoaște și relația axială, a: a: a . Nu rămîne să se stabilească decît parametrul a, muchiia paralelepipedului elementar.

Determinînd rețeaua Bravais ca fiind un cub centrat pe fețe, la care $a = 2\ d_{100}$, vom avea din relația Bragg-Vulf pentru primul ordin de reflexie, $\lambda = 2\ d_{100} \sin \theta_1$, valoarea parametrului, $a = 2\ d_{100} = \frac{\lambda}{\sin \theta_1}$. Cu radiația K_α a anticatodei de paladiu, cu λ = 0,576 Å , cunoscută, se determină pentru reflexia de ordinul 1 valoarea lui d_{100} = 2,814 Å și deci a = 2 d = 2.2,814 = 5,628 Å .

d. Poziția atomilor în paralelepipedul elementar.

Determinînd intensitatea spectrelor de diferite ordine pe fețele (100), (110) și (111) au rezultat următoarele valori (Bragg).

Fața	Ordinul I		Ordinul 2		Ordinul 3		Ordinul 4	
	$2\ \theta_1$	I	$2\ \theta_2$	I	$2\ \theta_3$	I	$2\ \theta_4$	I
(100)	11,8°	100	23,8°	30	36,2°	7	48,8°	3
(110)	10,5°	100	34°	24	52°	7	-	-
(111)	10,2°	20	20,6°	100	31,6°	0	42,5°	6

De aici se constată că intensitatea spectrelor date de planele reticulare (100) și (110) scade în mod normal, aproximativ invers proporțional cu patratul ordinului, pe cînd la spectrele date de planele reticulare (111), variația intensității este neregulată.
Aici, intensități mai mici alternează cu intensități mai mari. Scăderea regulată poate fi observată, pe de-o parte la ordinele pare (cu valorile mai mari), iar pe de altă

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

parte, la ordinele impare (cu valorile mai mici).

De aici se deduce că nodurile reţelei sînt ocupate de atomi de Na şi Cl şi nu de molecula NaCl, iar planele reticulare (111) sînt constituite alternativ, numai din ioni de Na sau numai din ioni de Cl.

Intensitatea fiind proporţională cu numărul de ordine, intensităţile mai mari sînt date de planele cu Cl^{17}, iar cele mai mici, de planele cu Na^{11}.

In relaţia Bragg-Vulf, d reprezintă echidistanţa planelor reticulare de aceeaşi compoziţie, respectiv, în cazul NaCl, a planelor consecutive de Cl sau de Na.
Din alternaţia intensităţilor se înţelege că şi cele două feluri de plane sînt aşezate alternativ, un plan cu Na între două plane cu Cl deci la distanţa $\frac{d_{111}}{2}$ şi reciproc pentru planele cu Cl.

Rezultă astfel că structura NaCl constă din două cuburi centrate pe feţe, unul de Na şi unul de Cl, întrepătrunse la $\frac{a}{2}$ pe cele trei direcţiuni, astfel încît formează împreună o reţea cubică unică (fig.341).

Toate planele reticulare după faţa (100) sînt alcătuite din şiruri reticulare, în care atomii de Na alternează cu cei de Cl, adică toate planele au aceeaşi compoziţie şi de aceea dau aceleaşi reflexii.

Intensitatea spectrelor scade, în mod normal, odată cu creşterea ordinului de reflexie.
La fel se întîmplă şi cu planele reticulare după faţa (110). Şi aici şirurile reticulare sînt compuse din atomi de Na care alternează cu atomii de Cl; toate planele sînt la fel şi intensitatea reflexiilor scade în mod normal.

După cum s-a văzut, intensitatea variază în funcţie de lungimea de undă a razelor X, de numărul de ordine al atomului şi de densitatea atomilor pe reţeaua plană.

La plane (100) şi (110), primele două condiţii

sunt identice. Intensitatea va diferi numai în raport cu densitatea rețelelor.

Densitatea celor două plane reticulare, cu valori apropiate ale distanței dintre noduri ($d_{100} = 1$; $d_{110} = \sqrt{2}$), fiind puțin diferite, și intensitățile respective vor fi de valoare apropiată. Așa rezultă și din tabloul de mai sus.

e. Volumul molecular. Cubul centrat pe fețe este compus din opt cuburi simple care au colțurile ocupate alternativ din 4 atomi de Na și 4 atomi de Cl, fiecare din cele două feluri de atomi avînd poziția colțurilor de tetraedru.

Latura acestui cub simplu este $d_{100} = \frac{a}{2} = 2{,}814$ Å, iar volumul său, $(d_{100})^3$ cuprinde $\frac{4}{8}$ din atomii de Na și $\frac{4}{8}$ din atomii de Cl (vezi atomul din mijlocul cubului mare), adică $\frac{1}{2}$ atomi de Na și $\frac{1}{2}$ atomi de Cl.
O moleculă întreagă NaCl va ocupa deci două cuburi mici. Volumul molecular al NaCl este egal cu $2 \cdot (d_{100})^3 = 2 \cdot 22{,}283 = 44{,}566$ Å .

f. Determinarea grupei spațiale

Cunoscînd, în modul arătat, rețeaua Bravais, cub centrat pe fețe, rămîne să se identifice grupa spațială din această categorie.

In clasa Oh sînt 11 grupe spațiale din care, însă, numai 4 sînt grupe spațiale F (cu celula elementară cub centrat pe fețe) și anume grupele:

Oh^5 = Fm3m , Oh^6 = F m 3c, Oh^7 = Fd3m și Oh^8 = Fd3c.

In recunoașterea elementelor de simetrie ale structurii interne se folosește stabilirea extincțiilor de reflexii ale razelor X pe anumite direcții.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Astfel, simetria helicoidală a unei axe se pune în evidenţă prin extincţia reflexiilor care se produc pe planele perpendiculare pe această axă.

Deasemenea, caracterul simetric prin translaţie al unui plan se pune în evidenţă prin extincţiile simetrice ale reflexiilor pe planele din zonele perpendiculare pe acesta.

Stabilind elementele de simetrie în acest mod şi eliminînd grupele cu plane de translaţie indicate de formulele de simetrie F m3c, F d3m şi F d3c, s-a stabilit că sarea gemă face parte din grupa spaţială O_h^5 = F m3m.

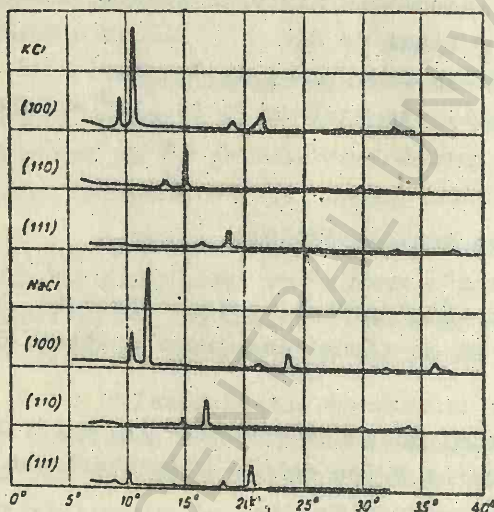


Fig. 341a

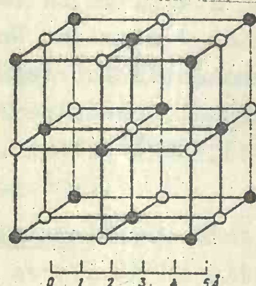


Fig. 341 b

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2.
CRISTALOGRAFIA GEOMETRICA

B.STRUCTURA INTERNA A CRISTALELOR.

XII. B. E L E C T R O N O G R A F I A C R I S T A L E L O R

7. PRINCIPIILE ELECTRONOGRAFIEI.

De cîtva timp, în locul noţiunii de roentgenometrie a cristalelor a început să se introducă ideea de radiometrie. Este justificată această schimbare de titlu ? Cum trebuie ea înţelească ?

De la descoperirea difracţiei razelor roentgen prin cristale,această metodă de cercetare a structurii interne a fost, propriu, numită roentgenometrie.
De sigur că, fiind vorba de raze, această noţiune se încadrează în sfera mai largă a noţiunii de radiometrie. Dar, la drept vorbind, studiul optic al cristalelor se realizează tot cu ajutorul razelor; al razelor din spectrul vizibil, cu lungimi de undă mai mari, dar tot raze şi chiar raze de aceeaşi natură.
Studiul optic al cristalelor este deci, în esenţă, tot un studiu radiologic, dar nu s-a gîndit nimeni să-l contopească în acelaşi capitol cu roentgenometria, să zicem, într-un capitol de radiocristalografie.

In tendinţa de cunoaştere cît mai completă a structurii interne a cristalelor,s-au adus metodelor roentgenometrice o serie de perfecţionări pe care, în parte, le-am văzut anterior.Si totuşi, pentru cristalele de dimensiuni foarte mici şi în general pentru cristalele din sistemul monoclinic şi triclinic, determinarea planelor reticulare a rămas o problemă deschisă.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Pornind de la ideea că puterea, limitată, de mărire a microscoapelor optice a putut fi spectaculos mărită cu ajutorul microscopului electronic, s-a pus problema aplicării lui şi în cercetarea cristalelor şi rezultatele au fost fructuoase. O serie de substanţe foarte fin cristalizate, cum sînt mineralele argiloase, submicroscopice, au putut fi "văzute" cu microscopul electronic, cu ajutorul razelor de electroni.

De aici s-a mers mai departe, cu anumite adaptări ale aparatului şi prin difracţia razelor de electroni, s-a reuşit să se obţină spectrograme ale cristalelor ultrafine, întrutotul asemănătoare celor obţinute cu raze X, şi pentru cristalele la care acestea nu dădeau rezultate.
Metoda de cercetare prin difracţia de raze electronice este desigur o metodă radiometrică similară cu metoda roentgenometrică dar care, nefiind bazată pe folosirea razelor roentgen, nu-i logic să fie încadrată în rîndul metodelor roentgenometrice.
Este însă justificat să fie clasată distinct ca metodă electronografică.

In această accepţiune, este corect cu ambele metode de cercetare, roentgenometrică şi electronometrică a cristalelor, să fie cuprinse într-un capitol unic de radiocristalografie. Altfel, nu.

8. METODE ŞI APARATE

Metoda este întrutotul asemănătoare cu metoda pulberilor, numai că în locul razelor roentgen, aici se întrebuinţează raze de electroni.

Aparatul, un microscop electronic adaptat şi pentru difracţia razelor de electroni prin cristale, se numeşte electronograf.

Preparatul de cercetat se realizează prin depunerea pulberii ultrafine pe un suport metalic în formă de sită, acoperit cu o peliculă de colodiu.

Funcţionarea aparatului se adaptează după obiectivul de studiu urmărit.

- In aranjarea lui obişnuită, ca microscop electronic, aparatul, mărind de mai multe mii de ori imaginea, dă posibilitatea să se vadă şi să se fotografieze cristalele la dimensiuni apreciabile, cu forma şi celelalte particularităţi morfologice puse clar în evidenţă (fig.342).

9. ELECTRONOGRAME

Ca şi în metoda pulberilor, razele de electroni reflectate pe planele reticulare, dau pe-o peliculă fotografică, tot diagrame constituite din cercuri concentrice, care corespund bazei conurilor de interferenţă (fig.343). Acestea sînt electronograme generale.

- Printr-o focalizare mai accentuată cu reglarea unui obturator, la o putere mult mai mare de mărire (25-30.000 ori) se vizează din preparat o porţiune dintr-un cristal, prin care sînt difractate razele de electroni cu mare energie ca în metoda Laue. Se obţine o electronogramă de detaliu, cu pete luminoase, aranjate după simetria cristalului (fig.344).

Din cauza posibilităţii limitate de micşorare a obturării (minimum 1 μ) metoda nu dă rezultate la cristalele şi mai fine.

Electronogramele oferă posibilitatea stabilirii facile a simetriei cristalului şi posibilitatea de calcul a parametrilor după una sau mai multe axe.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ELECTRONOGRAME
I

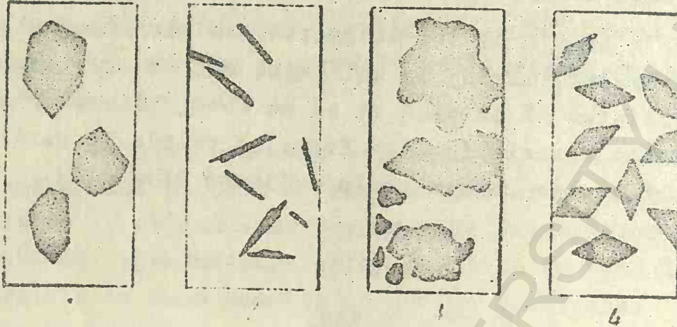


Fig. 342 a

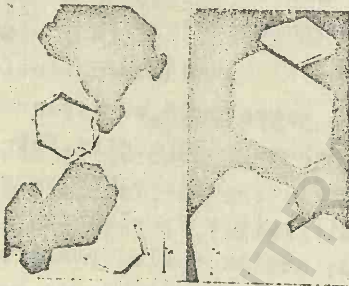


Fig. 342b.



Fig. 343a



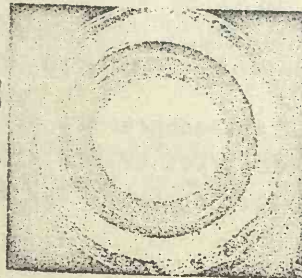


Fig. 343b.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ELECTRONOGRAME II

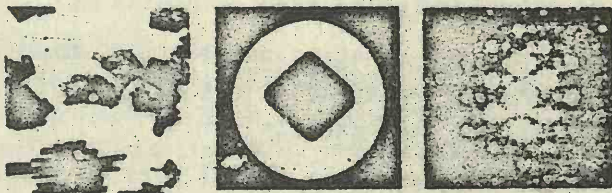
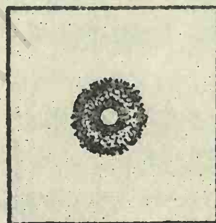


Fig. 344 a



Fig. 344 b



(a)



(b)

Fig. 345.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

C.DIN APLICAȚIILE RADIOMETRIEI

Cea mai veche și mai largă aplicare a metodelor roentgenometrice este cea a recunoașterii și definirii mineralelor și substanțelor chimice.

Orice mineral și orice substanță chimică își are structura sa internă specifică și aceasta se reflectă deosebit de evident în radiogramele lor.

Aceste radiograme, la rîndul lor, cu totul caracteristice, se deosebesc prin numărul, aranjarea și intensitatea petelor de interferență.
Pe această bază, de altfel, s-au întocmit și determinatoarele de care am amintit.
Din aceste diagrame se obțin elementele structurale necesare în definirea și prezentarea oricărei substanțe chimice noi și a oricărui mineral nou descoperit.

Evident că tot ce-am văzut în acest capitol se referă la materia cristalizată, dar radiometria depășește domeniul riguros al cristalelor.
In primul rînd, metoda oferă posibilitatea de a deosebi un corp cristalin de unul amorf iar în al doilea rînd, cu această metodă se pot determina și unele caractere ale materiei amorfe.

Desigur, în această discriminare, nu-i vorba de substanțe solide al căror caracter cristalin apare evident la examenul macroscopic sau chiar microscopic, dar există substanțe, cum sînt unii coloizi, cum sînt argilele, coloizii din sol, limonitul, negrul de fum ș.a., care considerate multă vreme ca tipic amorfe, s-au dovedit a fi în realitate cristaline.

Ele dau roentgenograme cu linii spectrale nete, care sînt întrutotul asemănătoare cu ale cristalelor evidente.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

In cazul substanţelor amorfe, care de altfel dau şi ele anumite pete de interferenţă, acestea constă din nişte benzi difuze şi neprecise.

Aşa este roentgenograma sticlei (fig.345) în comparaţie cu a- cristobalitului ambele compuse din SiO_2 şi ambele izotrope.
Pentru cristabolitul, cristalizat în sistemul cubic, roentgenograma prezintă inele întunecate subţiri şi clare, pe cînd pentru sticla, amorfă, roentgenograma prezintă cîteva benzi difuze.

Deasemenea, cu ajutorul roentgenogramelor se poate face deosebirea între combinaţii, amestecuri şi cristale mixte.
In cazul unui amestec roentgenograma prezintă curbele caracteristice ale fiecărei substanţe.
In cazul unei combinaţii rezultă o diagramă unitară, caracteristică substanţei respective.
In cazul substanţei izomorfe, constantele reticulare ale cristalului sînt modificate corespunzător.

Tot cu ajutorul roentgenogramelor se pot deosebi modificaţiile polimorfe şi stările alotrope, care dau diagrame caracteristice fiecărei modificaţii.

Roentgenogramele scot în evidenţă anomaliile şi deranjamentele din reţeaua cristalină.

In această privinţă se deosebesc două situaţii:

In cazul unei deranjări omogene provocată, de ex. de dilatarea termică, deformaţia elastică, introducerea unor atomi străini în reţea etc., se produce o deplasare a dungilor de interferenţă, fără a se schimba aspectul general al debye-gramei, care prezintă aceleaşi linii clare.

In cazul deranjamentelor neomogene, provenite din deformări elastice inegale, din dezamestecuri etc. se produc linii îngroşate şi difuze.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Deranjamentele de reţea ale metalelor prelucrate la rece (cum ar fi cazul firelor trase), se evidenţiază în roentgenograme prin imprimarea unor linii groase şi difuze.

Prin "coacere", încălzirea treptată a metalului astfel prelucrat, se produce o rearanjare a reţelei, care face ca liniile respective ale roentgenogramei să devină subţiri şi nete.

In cazul unui fir tras de cupru, se constată o orientare a cristalelor cu axa cristalografică în direcţia de alungire, iar diagrama, cu linii neuniforme, are aspectul diagramelor obţinute la materialele anorganice sau organice naturale cu textura fibroasă.

Analiza roentgenospectrală se bazează pe măsura lungimii de undă a razelor X produse prin excitarea elementului cercetat.
Lungimea de undă se scoate din formula Bragg-Vulf, întrucît difracţia razelor se produce printr-un cristal cu d cunoscut.

In concluzie

Se poate spune că folosind datele obţinute prin metodele goniometrice, optice,chimice etc. de cercetare şi aplicînd apoi una sau mai multe din metodele radiometrice prezentate, se pot obţine, în general, toate elementele necesare, pentru determinarea structurii unei substanţe.

Aşa cum a rezultat şi din expunerea metodelor, determinările sînt cu atît mai complicate, cu cît simetria cristalului cercetat este mai redusă şi cu cît dimensiunile lui sînt mai infime.

Se poate afirma deasemenea că, la nivelul actual de dezvoltare, cu metodele radiometrice s-au făcut deja paşii decisivi în cunoaşterea aprofundată a structurii interne a cristalelor, iar modul cum a evoluat această dezvoltare arată neîndoielnic perspectiva apropiată pentru depăşirea mai departe a limitelor actuale de cunoaştere.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

TABLA DE MATERIE

Vol. I

V. SIMETRIA

VI. AXELE CRISTALOGRAFICE, RELATII INTRE FEŢELE DE CRISTAL SI AXELE CRISTALOGRAFICE

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

2. B. STRUCTURA INTERNA A CRISTALELOR

X. IPOTEZE GEOMETRICE ASUPRA STRUCTURII RETICULARE

XI. SIMETRIA STRUCTURII INTERNE

XII. DETERMINAREA RADIOMETRICA A STRUCTURII INTERNE

A. ROENTGENOMETRIA CRISTALELOR

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

B. ELECTRONOGRAFIA CRISTALELOR

Universitatea Al. I. Cuza Iaşi
Biblioteca de Geologie-Geografie
Cota veche | Preţul
a.p. | 54 lei

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY